

Resumen

En el presente documento se estudia la viabilidad, tanto técnica como económica, de la producción de fundas de protección mediante impresión 3D.

El problema a resolver que da origen a este proyecto es la falta de alternativas en el mercado para la protección de algunos dispositivos durante su uso, electrónicos en su mayoría, para los que la oferta de fundas de protección es nula o muy reducida.

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar y analizar los resultados de un sistema de producción, basado en la tecnología de impresión 3D, que permita diseñar e imprimir una funda de protección para cualquier objeto y ver que limitaciones y dificultades implica el uso de esta tecnología en el proceso de producción (diseño e impresión).

Para alcanzar los objetivos marcados, se estudia el estado del arte de la tecnología de impresión tridimensional y el mercado de las fundas de protección para móviles fabricadas por impresión 3D, donde cada vez se ofrecen más alternativas. Además, para conocer las preferencias de los usuarios potenciales y su predisposición a pagar por el producto se realiza una encuesta y se analizan sus resultados.

Estos conocimientos junto con la experiencia adquirida al trabajar en la producción de dos prototipos de funda, una para un teléfono móvil y otra para una calculadora gráfica, permiten fijar una serie de especificaciones técnicas y desarrollar un sistema generalizado de producción para una funda de protección de cualquier objeto. La producción de los prototipos permite poner el sistema desarrollado en práctica y comprobar su viabilidad técnica. Para comprobar la viabilidad técnica se comprueba el cumplimiento de las especificaciones técnicas fijadas.

Seguidamente, se presentan dos de las posibles alternativas de implementación del sistema y se analiza su viabilidad económica. Para el análisis de la viabilidad económica se calcula la demanda necesaria (a un precio fijado de acuerdo con la información obtenida) para solventar los costes de implementación.

Como resultados destacables comentar que: se ha logrado conocer las preferencias de usuarios potenciales y su predisposición a pagar por el producto (12,60 €), se ha logrado desarrollar un sistema de producción generalizado, el cual que es técnicamente viable y para el cual se ha determinado que una de las dos alternativas analizadas (la 'doméstica') podría ser de implementación económicamente viable por los valores de la demanda necesaria para pagar los costes al precio considerado.

Índice

RESUMEN	1
ÍNDICE	2
GLOSARIO	4
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Problemática a resolver	7
1.2. Objetivos	8
1.2.1. Objetivos del proyecto	8
1.2.2. Objetivos del producto	8
1.3. Limitaciones y dificultades de partida.....	10
1.4. Alcance del proyecto	10
2. ESTADO DEL ARTE DE LA IMPRESIÓN 3D	12
2.1. Impresión 3D y diferencias con la fabricación sustractiva	13
2.2. Diseño	14
2.3. Tecnologías de impresión	15
2.3.1. Estereolitografía (SLA)	17
2.3.2. Sinterizado selectivo por láser (SLS)	18
2.3.3. Modelado por deposición de fundente (FDM).....	19
2.4. Aplicaciones en ingeniería.....	22
2.4.1. Prototipos	22
2.4.2. Recambios	23
2.4.3. Productos finales	23
3. EL MERCADO DE LAS FUNDAS DE PROTECCIÓN PARA TELÉFONOS MÓVILES FABRICADAS POR IMPRESIÓN 3D	26
3.1. Fabricantes de móviles.....	26
3.1.1. BQ	26
3.1.2. Fairphone	28
3.1.3. Apple y nokia.....	29
3.2. Portales dedicados a la venta de fundas	30
3.2.1. 3Dpcase	30
3.2.2. Ucreate 3D	31
3.3. Portales de fundas diseñadas por usuarios	32
3.3.1. Shapeways	32
3.3.2. Thingiverse.....	33



4. CARACTERIZACIÓN DE LOS USUARIOS POTENCIALES	35
5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	40
6. VIABILIDAD TÉCNICA	44
6.1. Sistema de producción	44
6.2. Funda para teléfono móvil Honor 6.	45
6.2.1. Primera versión (base)	45
6.2.2. Versión definitiva	47
6.3. Funda para calculadora gráfica 50g	48
6.3.1. Escaneado 3D	49
6.3.2. Obtención del modelo en CAD	51
6.3.3. Creación de la superficie de recubrimiento	51
6.3.4. Grosor a la superficie	52
6.3.5. Cortes y personalización	53
6.3.6. Resultado final	53
7. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	55
7.1. Alternativa ‘profesional’	56
7.2. Alternativa ‘doméstica’	56
7.3. Tabla resumen	57
8. VIABILIDAD ECONÓMICA	58
9. ESTUDIO AMBIENTAL	61
9.1. Estudio medioambiental	61
9.2. Impacto socioeconómico	62
10. NORMATIVA APLICABLE	63
11. PLANIFICACIÓN Y COSTE DEL PROYECTO	65
11.1. Planificación	65
11.2. Coste del proyecto	65
12. CONCLUSIONES	67
AGRADECIMIENTOS	69
BIBLIOGRAFÍA	70

Glosario

La numeración se corresponde con la de los pies de página presentes en este informe, en los que se ha efectuado una breve descripción o se ha explicitado el origen de las siglas mostradas, mientras que en este glosario se muestra una explicación algo más detallada.

[1] RepRap: proyecto que nace en febrero de 2004 de la mano de Adrian Bowyer con la idea de desarrollar una impresora 3D de código abierto y bajo coste, cuyas especificaciones completas son distribuidas bajo la Licencia General Pública (GNU). Este tipo de impresora puede copiar algunas partes de sí misma, por ello se dice que es auto-replicable. ("RepRap/es - RepRapWiki", 2016).

El proyecto RepRap ayuda a hacer llegar la tecnología de impresión 3D a todo aquel que esté interesado, ya que tiene como resultado la creación de impresoras de bajo coste y ayuda en otros aspectos como la divulgación de la tecnología de impresión tridimensional y la colaboración entre usuarios.

[2] CAD (Siglas provenientes del término en inglés 'Computer Aided Design' y traducido generalmente como 'diseño asistido por ordenador'): "Engloba el uso de un amplio rango de herramientas computacionales. Estas herramientas se pueden dividir básicamente en programas de dibujo 2D y de modelado 3D; las herramientas de dibujo en 2D se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Los modeladores en 3D añaden superficies y sólidos". ("Wikipedia", 2016).

[3] STL (Siglas provenientes del término en inglés 'Standard Tessellation Language'): formato informático que define únicamente la geometría de los objetos modelados en CAD. Fue creado por la empresa 3D Systems y concebido básicamente para uso en la industria en la producción de prototipos y sistemas de fabricación asistida por ordenador. Su uso se populariza en los últimos años con el crecimiento del mercado de impresoras 3D de extrusión de plástico termofusible, ya que el formato STL es utilizado ampliamente por el software de control de estas máquinas.

[4] VRML (siglas provenientes del término en inglés 'Virtual Reality Modeling Language' y traducido como Lenguaje para Modelado de Realidad Virtual): es un formato de archivo normalizado, creado en 1995 por el Consorcio Web3D, que tiene como objetivo la representación de escenas u objetos interactivos tridimensionales. "Consiste en un fichero de texto en donde se detallan los vértices y aristas de polígonos en 3D, junto con los colores, texturas, transparencias, etc. para crear ambientes en 3D". (Alegsa, 2016).



[5] PLA (ácido poliláctico o poliácido láctico): “es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) que se utiliza para hacer envases, pero que además es biodegradable. Se degrada fácilmente en agua y óxido de carbono. Es un termoplástico que se obtiene a partir de almidón de maíz (EE.UU.) o de yuca o mandioca (mayormente en Asia), o de caña de azúcar (resto del mundo)”. (“Wikipedia”, 2016).

[6] AsorCAD: empresa patrocinadora de este proyecto, afincada en Mollet del Vallés y que ofrece servicios de escaneado 3D, metrología, ingeniería inversa, impresión 3D y diseño de producto, además de ser distribuidor oficial de impresoras 3D, escáneres 3D y otros equipos de este ámbito de marcas líderes en el sector.

1. Introducción

Durante los últimos años, como estudiante de ingeniería, la calculadora gráfica y el ordenador portátil se han convertido en objetos cotidianos para mí. Tras las primeras caídas y golpes, me empecé a preguntar por qué está tan limitada la disponibilidad de fundas de protección para éstos y otros dispositivos similares, si son de uso tan frecuente y de un valor similar e incluso superior a otros aparatos electrónicos, como teléfonos móviles, tablets o libros electrónicos para los que sí que se dispone de fundas estandarizadas en el mercado.

A partir de esta reflexión y del interés en la tecnología de impresión 3D decidí que este proyecto consistiría en el estudio de viabilidad de la producción de fundas de protección para cualquier dispositivo mediante impresión 3D. Se utiliza el término 'producción' como el conjunto de las etapas de diseño y fabricación (impresión 3D en este caso)

Se debe aclarar que en este proyecto se hace referencia a las fundas de protección que permiten el uso del dispositivo, no a aquellas que sirven solamente para la protección durante su traslado (de hecho, la funda de protección para el traslado de la calculadora gráfica 50g, de HP, se incluye en la compra del dispositivo). Se considera que las fundas que permiten el uso son incluso más importantes, ya que la mayoría de incidentes se producen mientras se está utilizando el aparato.

Se piensa en la producción mediante impresión tridimensional como posible solución para la fabricación de fundas de protección debido a la versatilidad de esta tecnología, en el sentido de que es capaz de fabricar objetos a partir de los diseños hechos en cualquier software de diseño asistido por ordenador, sin necesidad de moldes ni la maquinaria tradicional de tratamiento de los materiales (plásticos normalmente) que componen las fundas.

A priori, esta solución podría ser viable económicamente por el bajo coste en cuanto a la inversión en maquinaria que supondría, ya que el coste de una impresora 3D de gama media es relativamente bajo (a principios de 2016 se puede encontrar la versión de BQ del modelo Prusa i3, que cuenta con gran popularidad y buena crítica, por 439 euros en establecimientos tan consolidados como Media Markt y PCcomponentes). Además, hoy en día existen empresas que ofrecen servicio de alquiler de impresoras 3D por horas y otras que ofrecen el servicio de impresión a partir de un diseño.

La presumible bajada de los precios tanto en las impresoras como en el resto de componentes que engloba esta tecnología en un futuro próximo y los avances en la tecnología de impresión 3D (velocidad de impresión, precisión de impresión, variedad de materiales, etc.) contribuyen a pensar que ésta es una opción a considerar.



1.1. Problemática a resolver

La motivación para llevar a cabo cualquier proyecto de ingeniería ha de venir justificada por la resolución de un conflicto o la cobertura de una necesidad. (Apuntes de la asignatura gestión de proyectos, Departamento de proyectos de ingeniería, ETSEIB-UPC). En este caso, se trata de afrontar la falta de alternativas en el mercado para la protección de algunos dispositivos. Se piensa en aparatos electrónicos principalmente, aunque podría tratarse de cualquier objeto que cumpla con las restricciones de tamaño máximo de impresión de la impresora 3D a utilizar (el tamaño máximo de impresión de los equipos más comercializados está fijado en torno a los 200x200x200 mm, pero existen alternativas en el mercado que permiten impresiones de mayor tamaño, como el modelo Gigabot 3.0 de la empresa Re3d, que permite realizar impresiones de hasta 590x600x600 mm). De ahora en adelante, al mencionar el término ‘cualquier objeto’ se hará referencia a cualquier objeto que cumpla con las limitaciones de tamaño máximo de impresión asociadas.

Algunos ejemplos de dispositivos para los que no existe (o es muy limitada) oferta de fundas para su protección son:

- Calculadoras
- Ordenadores portátiles
- Videoconsolas (portátiles y de posición fija)
- PDAs
- Teléfonos fijos inalámbricos
- Mandos a distancia (televisión y videoconsolas)
- Periféricos informáticos (ratones, teclados, auriculares...)
- Placas de hardware libre (arduino, raspberry pi y similares. Carcasas en este caso, que no suelen venir incluidas en la compra del dispositivo)

La falta de alternativas en el mercado puede estar justificada por diversos factores, entre los que destacan dos: las geometrías complejas que tienen estos objetos en muchos casos, que dificultan en gran medida el diseño de las fundas frente a las relativamente sencillas de teléfonos móviles y tablets; y que a los fabricantes no les interese realizar grandes series de fabricación en serie de fundas para éstos, porque no prevén obtener beneficios suficientes con su comercialización.

Aunque no son el objeto principal a tratar en este proyecto, como se verá más adelante también se estudiarán también fundas para aparatos cuya disponibilidad no está tan limitada, como las de teléfonos móviles.

1.2. Objetivos

Para definir por completo y de forma estructurada los objetivos, se distingue entre los objetivos del proyecto y los objetivos del producto.

1.2.1. Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es evaluar la viabilidad, tanto técnica como económica, de la implantación de la tecnología de impresión 3D como sistema de producción para fundas de protección.

Para ello, se deberá desarrollar un sistema de producción generalizado que permita realizar el diseño de una funda de protección de cualquier objeto dado para su posterior impresión. Se deberá conocer el estado del arte de la tecnología de impresión tridimensional; ver hasta qué punto ésta permite imprimir las fundas de protección y qué puntos fuertes y puntos débiles tiene la elección de este método de producción.

Se fija como objetivo concreto y práctico la producción de una funda de protección para dos objetos: el teléfono móvil Honor 6 de Huawei y la calculadora gráfica 50g de HP, por estar ambos a disposición para poder evaluar el resultado (comprobar la funcionalidad, acabados, calcular costes asociados, conveniencia del sistema de producción desarrollado, etc.).

1.2.2. Objetivos del producto

El objetivo principal en cuanto a funcionalidad del producto es proteger el objeto durante su uso. Para ello debe cumplir al menos las cuatro características básicas siguientes:

- Encaje ajustado entre la funda de protección y el dispositivo a proteger: se toma un juego máximo en cada una de las tres direcciones del espacio de 1 mm como una primera referencia (de la que habrá que evaluar su conveniencia práctica).
- Capacidad de protección frente a caídas, golpes y ralladuras del aparato a proteger: la funda no debería sufrir un deterioro significativo, que impida seguir cumpliendo con sus funciones de protección, hasta superar al menos 15 caídas a 1 metro de altura (estimación de la media del número de caídas que sufren los dispositivos durante su vida útil).
- Que permita el uso total del dispositivo con la funda incorporada: al tratarse de fundas destinadas a proteger durante la utilización del dispositivo, éstas no deben en ningún caso impedir ni dificultar ninguna funcionalidad del aparato. Cabe recalcar que se deberá prestar especial atención a no bloquear ni dificultar el acceso a detalles como botones laterales y conexiones de periféricos.



- Facilidad para incorporar y retirar la funda del dispositivo: el proceso de enfundar y desenfundar no debe suponer un gran esfuerzo, ni poner en riesgo la integridad de la propia funda o, más importante aún, del dispositivo (que pueda rallarlo con esquinas demasiado pronunciadas, por ejemplo). El proceso debe ser tan cómodo y simple como sea posible, para que el usuario pueda hacerlo cuando lo desee (por ejemplo, si quiere extraer la funda cada vez que usa el dispositivo) o lo necesite (si la funda bloquea el acceso a las pilas u otras situaciones similares que requieran la retirada de la funda con cierta frecuencia).

El objetivo en cuanto a negocio (fases de construcción y explotación) en caso de que se llegara a implantar como tal, sería que el producto se consolidase en el mercado, llegando a ser viable económicamente, es decir, que los ingresos generados de la venta de fundas de protección superasen los costes relacionados, tanto de inversión inicial en maquinaria y software, como de fabricación, materiales y mantenimiento. Para ello debería cumplir los siguientes aspectos:

- El producto desarrollado debería ser competitivo en cuanto a precio: el precio fijado de la funda no debería ser superior en más de un tercio del precio del producto más barato de la competencia en caso de existir dicha oferta. Por ejemplo, las fundas de protección para móviles fabricadas por impresión 3D para el iPhone 6, disponibles a partir de un precio de 18 euros (en el portal de Ucreate3D, que se estudiará más adelante) fijarían un precio de venta máximo de 24 euros. Otra referencia en cuanto a precio será el que los usuarios potenciales estén dispuestos a pagar y que se determinará a través de una encuesta (capítulo 4).
- El diseño debería ser atractivo para captar la atención de posibles usuarios: evitar esquinas pronunciadas por ser desagradables al tacto, evitar la sensación de rigidez e incluir cierta capacidad de personalización, como por ejemplo la posibilidad de incorporar texto en la funda por la exclusividad ofrecida, son características que se consideran atractivas para el usuario y por lo tanto son opciones que se deben tratar de incorporar.
- Se debería minimizar el tiempo transcurrido entre el pedido del usuario y el momento en que recibe la funda lo máximo posible, para satisfacer la experiencia del usuario: se piensa que dos o tres días sería un tiempo objetivo razonable para diseñar e imprimir la funda. Junto al tiempo de envío, si fuera el caso que se realizara, éste se podría controlar hasta cierto punto debido a la gran oferta de empresas que realizan esta clase de servicio y que se estima que podría rondar los dos o tres días a un precio asequible, sumarían un tiempo objetivo total entre pedido y recepción de la funda del orden de una semana en caso de realizar envío y de dos o tres días en caso de recogida por el usuario.

1.3. Limitaciones y dificultades de partida

Como primera y principal limitación de partida destaca que se impone la impresión 3D como método de producción. Esta elección implica una serie de dificultades, que se estudiarán en detalle en los siguientes capítulos, pero a priori se puede pensar que los siguientes aspectos se deberán tratar en profundidad:

- Dificultades en el diseño de las fundas, ya que no se contempla el uso de moldes.
- Necesidad de conseguir una gran exactitud en las medidas del diseño y la impresión, ya que la funda debe encajar adecuadamente en el dispositivo a proteger.
- El hecho de que los objetos producidos por impresión tridimensional sean monocromáticos normalmente.
- El tiempo de fabricación con este tipo de sistema de fabricación, de varias horas para pequeños objetos con impresoras de gama media.
- La calidad de los acabados superficiales y de ciertos detalles como pequeñas hendiduras y esquinas pueden tener ciertas carencias dependiendo de la tecnología de impresión, requiriendo trabajo de post impresión como limado y corte.

1.4. Alcance del proyecto

En el presente proyecto se pretenden desarrollar la fase previa a la construcción y explotación del proyecto, es decir, la fase de diseño al completo. Se pretende llegar al desarrollo de una metodología que permita producir una funda de protección para cualquier objeto y realizar un estudio de viabilidad de este sistema.

Para ello, merece la pena destacar como aspectos clave del proyecto los mencionados a continuación. Éstos se deberán realizar en el orden lógico mostrado a continuación, aunque estarán abiertos a constantes correcciones, modificaciones y ampliaciones durante su desarrollo:

1. Estudio del estado del arte de la tecnología de impresión 3D.
2. Estudio de mercado de las fundas de protección para teléfonos móviles fabricadas por impresión 3D.
3. Caracterización de los usuarios potenciales (preferencias y predisposición a pagar).
4. Determinación de las especificaciones técnicas a cumplir.
5. Estudio de viabilidad técnica (incluye el desarrollo de un sistema generalizado de producción).
6. Estudio de alternativas.
7. Estudio de viabilidad económica.



Quedarán fuera del alcance de este proyecto la descripción detallada tanto de las fases de construcción como de explotación, que describirían en detalle entre otros aspectos: la previsión de la demanda, la planificación de los recursos necesarios para satisfacerla (tanto materiales como humanos), el tipo de producción (con “stock” y/o bajo pedido), los canales de venta (tienda física, a través de internet con web propia o en páginas de terceros, a través de convenios con los fabricantes de dispositivos electrónicos o de fundas de protección, etc.) y planes de marketing.

Aun así, algunos de estos aspectos serán tratados superficialmente.

2. Estado del arte de la impresión 3D

La impresión tridimensional resulta muy vistosa, de hecho, suele estar presente en muchas de las exposiciones de nuevas tecnologías y eventos de este tipo. Sin ir más lejos, en el Fórum de empresas, que organizan estudiantes de la facultad (ETSEIB) anualmente, se muestra el proceso de impresión de distintas figuras y piezas mediante impresoras de la fundación CIM (adscrita a la UPC) que forman parte del proyecto RepRap¹.

En esta clase de eventos lo más habitual es mostrar cómo se imprimen objetos de poca complejidad de diseño, ya que sólo importa el aspecto visual, no forman parte de ensamblajes para formar mecanismos y por lo tanto no requieren una gran exactitud en las medidas del diseño ni una gran 'precisión de impresión' (término que hace referencia a la máxima distancia, de error, entre el diseño a imprimir y el resultado de la impresión). Tampoco tienen unas grandes exigencias en cuanto a su uso, ya que no están sometidas a ningún tipo de esfuerzo mecánico ni condiciones adversas de temperatura, fatiga... Algunos ejemplos pueden ser juguetes y figuras sencillas como la siguiente:



Imagen 1: figura de Yoda producida por impresión 3D. Fuente: www.redusers.com

En este proyecto se estudia la viabilidad de la producción de fundas de protección, objeto que se puede considerar de cierta complejidad, ya que las medidas (tanto en el diseño como en la posterior impresión) serán determinantes para lograr un ajuste adecuado entre el dispositivo y la funda; y de gran exigencia en cuanto al uso, ya que es un objeto de uso constante, que debería ser capaz de soportar golpes, caídas y ralladuras.

¹ Características de impresoras del proyecto RepRap: auto-replicables, de software y hardware libres.

* nota: aquellos términos cuya definición no sea determinante para entender el proyecto, pero puedan tener cierto interés, son tratados brevemente en los pies de página y con más detalle en el glosario.



En este capítulo se definirán y estudiarán los aspectos principales de la tecnología de impresión tridimensional: en qué se diferencia de las tecnologías de fabricación sustractivas, el proceso de producción (cómo se efectúa el diseño y qué tecnologías de impresión destacan). También se mostrarán aplicaciones destacables en el ámbito de la ingeniería.

2.1. Impresión 3D y diferencias con la fabricación sustractiva

La impresión 3D es una tecnología de fabricación por adición donde un objeto es creado mediante la superposición de material. ("Wikipedia", 2016). Generalmente, la superposición de material se realiza por capas. Se persigue que las capas sean tan finas como sea posible. Se asociará el término 'resolución de la impresión' como la altura de las capas de la impresión. Cuando se haga referencia a las impresoras, se hará referencia a 'resolución' como la altura de capa mínima capaz de generar la impresora. La altura de capa mínima no será normalmente la generada porque requeriría mayores tiempos para la impresión, aunque en ese caso se conseguiría una mayor precisión de impresión y mejores acabados (superficies exteriores más suaves y con menor presencia de imperfecciones).

Los términos 'fabricación aditiva', 'manufactura aditiva' e 'impresión tridimensional' son ampliamente utilizados como sinónimos de impresión 3D y son empleados indistintamente en este informe. Se evita utilizar el término 'prototipado rápido' porque, aunque es muy utilizado también como sinónimo, puede acarrear cierta confusión entre la producción de un prototipo y de un producto final.

La impresión tridimensional se diferencia en gran medida de otras tecnologías de fabricación más tradicionales de mecanizado en que éstas son en general técnicas sustractivas de material, lo que significa que se basan en la eliminación de material de una base para la conformación del objeto a fabricar. Fresado, corte, torneado y limado son algunos ejemplos de técnicas de fabricación por sustracción.

A continuación, se muestra una imagen que ilustra la diferencia de la fabricación por adición y la fabricación por sustracción de material para fabricar un mismo objeto:



Imagen 2: fabricación por sustracción y fabricación por adición. Fuente: Cotec, 2011.

En general no se puede decir que ninguna de estas dos técnicas de fabricación sea mejor que la otra, dependerá de cada caso en particular si la elección de la tecnología de fabricación por adición es más conveniente o si por el contrario resulta más adecuada la elección de alguna de las tecnologías por sustracción de material. Aun así, en términos generales se suele considerar que la fabricación por adición debería imponerse para series cortas de fabricación, para objetos con geometría compleja y que no estén sometidos ni a grandes esfuerzos físicos ni a condiciones térmicas extremas; mientras que la fabricación por sustracción resulta más apropiada en casos donde el objeto esté sometido a grandes esfuerzos mecánicos y térmicos, se requiera un mejor acabado superficial y se busquen unas tolerancias menores en las medidas. En cuanto a la sostenibilidad, aspecto tan cuidado por suerte hoy en día y que se trata con más detalle en el capítulo 9, cabe destacar que la impresión 3D hace, en general, un aprovechamiento mayor del material (normalmente no se desperdicia material sobrante), y que, al contrario que las técnicas sustractivas, no genera los problemas medioambientales derivados del uso de refrigerantes.

Por las características del producto objeto de este proyecto, fundas de protección, se piensa que el método de fabricación por adición es adecuado, ya que al tratarse de fundas que se diseñarían y fabricarían posiblemente bajo pedido se realizarían series cortas de fabricación, y, además, los esfuerzos tanto térmicos como mecánicos a soportar no llegarían a un nivel de exigencia para que fueran necesarias otras técnicas de fabricación.

2.2. Diseño

El diseño 3D de los objetos a imprimir, se lleva a cabo mediante cualquier software de diseño asistido por ordenador (CAD²) que permita la exportación del modelo creado a un formato compatible con el software de control de la impresora o mediante la digitalización de objetos físicos por escaneado 3D. En el caso de los modelos realizados en el proyecto se ha utilizado principalmente el software comercial SolidWorks para el diseño, por disponer de las licencias pertinentes y tener experiencia en su uso. Además, también se ha utilizado escaneado 3D, para obtener el modelo del objeto a proteger y así facilitar el diseño de las fundas. En la sección 6.1 se presenta el sistema de producción desarrollado.

Los modelos diseñados en software de CAD, en el formato adecuado (compatible con el software de control de la impresora), sirven como guías para la impresión. Uno de los formatos compatibles con las impresoras tridimensionales más comúnmente utilizado es el formato de archivo STL³, que define únicamente la geometría de los objetos, dejando de

² Siglas provenientes del término en inglés 'Computer Aided Design'.

³ Siglas provenientes del término en inglés 'Standard Tessellation Language'.



lado otras características como color y textura. Un archivo STL aproxima la forma de una pieza utilizando facetas triangulares. Una mayor cantidad de facetas (más pequeñas) para representar la geometría de un mismo objeto produce una superficie de mayor calidad, pero consume más memoria.

A continuación, se ilustran dos (2 y 3 en la imagen) de los diferentes resultados de la exportación del modelo de una esfera (1) diseñada en CAD al formato STL para dos resoluciones distintas. En el ámbito de la digitalización 3D, se suele relacionar el término 'resolución' a la distancia entre los puntos (vértices) que forman las facetas triangulares con las que se aproxima la forma del objeto. Cuanto menor sea la distancia entre puntos se obtendrá una mayor resolución y su forma se asemejará más a la del modelo original a representar y se conseguirá por lo tanto más precisión.

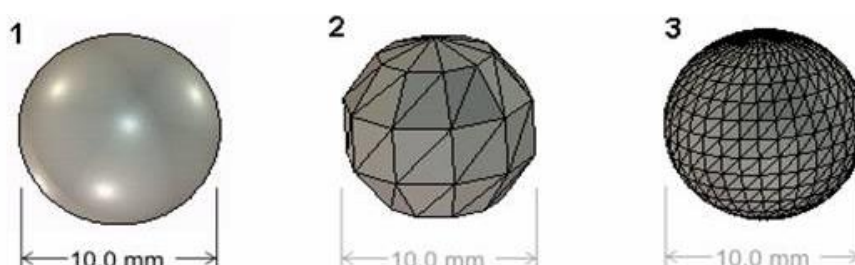


Imagen 3: exportación de modelo en CAD de esfera a formato STL con diferentes resoluciones. Fuente: www.malgaba-ingenieros.com

En el primer caso se puede apreciar una resolución menor, mientras que en el segundo la distancia entre vértices de las facetas triangulares es menor, por lo que su resolución es mayor y la forma se asemeja más a la original.

Existen otros formatos compatibles con las impresoras 3D. El hecho de ser compatible o no con un formato concreto dependerá de cada impresora en particular. En general, los formatos más extendidos son el STL, VRML⁴, 3DS, PLY, IGES y OBJ entre otros. El formato de archivo VRML es a menudo utilizado para realizar las impresiones a color. Para la producción de los dos prototipos efectuados en el presente proyecto se ha empleado el formato STL como formato compatible con el software de control de las impresoras, ya que es el formato requerido por el servicio de impresión de la universidad, a través del cual se han fabricado los prototipos de las fundas de protección que forman parte del proyecto.

2.3. Tecnologías de impresión

Las diferentes tecnologías se clasifican según el tratamiento del material para formar las

⁴ Siglas provenientes del término en inglés 'Virtual Reality Modeling Language'.

capas que a su vez forman el objeto y el tipo de solidificación o endurecimiento del material.

“Algunas de las tecnologías de impresión más populares que utilizan fundido o ablandamiento del material para producir las capas son el sinterizado selectivo por láser (SLS) y el modelado por deposición fundente (FDM), mientras que otras se basan en depositar materiales líquidos que son curados con diferentes tecnologías, como la estereolitografía (SLA)”. (“Wikipedia”, 2016). En este capítulo se estudiarán estas tres tecnologías de impresión, por tener un gran peso en los orígenes de la impresión 3D y por ser de las más populares y consolidadas actualmente en el ámbito de la fabricación aditiva. Aun así, se debe comentar que existen muchas otras, tanto variantes de éstas como otras completamente novedosas. Algunos ejemplos de otras técnicas de impresión son: PolyJet, MultiJet, 3DP, LOM, fusión por haz de electrones y proyección aglutinante.

En la siguiente tabla se muestran algunas de las características principales de las tres técnicas que se estudiarán, y que, aunque dependerán en última instancia de cada impresora, servirán como referencias de los órdenes de magnitud asociados:

	Estado de los materiales y ejemplos de los más usados	Tamaño máximo/medio de impresión (mm)	Precisión de impresión (mm)	Resolución de impresión (altura de capa mínima/media, en mm)	Ámbito de uso habitual
Estereolitografía (SLA)	Resinas líquidas: • Epoxi • Acrílica • Termoplástica	1000x800x500 / 397x319x264	0,05	0,010 / 0,046	Profesional
Sinterizado selectivo por láser (SLS)	Polvos: • Nailon • Fibra de vidrio • Metales	720x500x450 / 287x287x341	0,1	0,020 / 0,157	Profesional
Modelado por deposición de fundente (FDM)	Filamentos de termoplásticos (ABS i PLA)	600x600x600 / 225x207x196	0,1	0,060 / 0,123	Profesional y doméstico

Tabla 1: comparativa de las tres principales tecnologías de impresión. Fuente: elaboración propia.

Cada tecnología tiene sus propias ventajas e inconvenientes. Las principales consideraciones para la elección de la tecnología de impresión son el material utilizable, las dimensiones máximas de impresión, la precisión de impresión, la resolución de impresión (altura de capa), la velocidad de impresión, el coste de la impresora y el coste de los materiales de impresión asociados.

En este proyecto, debido a que por disponibilidad de recursos las impresiones de los prototipos se realizan a través del servicio de impresión 3D (aula RepRap) de la escuela (ETSEIB), la tecnología de impresión empleada es el modelado por deposición de fundente (FDM) y el material utilizado el ácido poliláctico (PLA⁵).

⁵ También conocido como ‘poliácido láctico’ es un termoplástico biodegradable.



2.3.1. Estereolitografía (SLA)

Esta técnica fue la primera en utilizarse en impresión 3D. Fue desarrollada y patentada a mediados de la década de los 80 por Chuck Hull, quien creó posteriormente la empresa 3D Systems (puntera desde su creación y aún hoy en día en el sector) para comercializar el uso de esta tecnología.

La estereolitografía se basa en la aplicación de un haz de luz ultravioleta sobre una resina líquida fotopolimérica (que reacciona a la luz en un rango de longitudes de onda determinadas, rango que viene determinado por cada tipo de resina). Se parte de un tanque que contiene la resina líquida y se coloca una plataforma de soporte plana sumergida completamente a una profundidad igual al grosor de las capas a formar (típicamente entre 0,05 y 0,15 mm). Entonces, se procede a la solidificación de la resina líquida comprendida entre la superficie exterior del tanque y la plataforma de soporte, creando así la capa inferior del objeto, que queda en contacto con la plataforma de soporte. A continuación, la plataforma desciende una longitud equivalente al grosor de la capa solidificada, dejando sumergida la capa solidificada en la resina líquida. Se repite el proceso de solidificación mediante la aplicación del haz de luz ultravioleta y la capa recién solidificada queda pegada a la capa solidificada previamente.

En la siguiente imagen se ilustra el proceso:

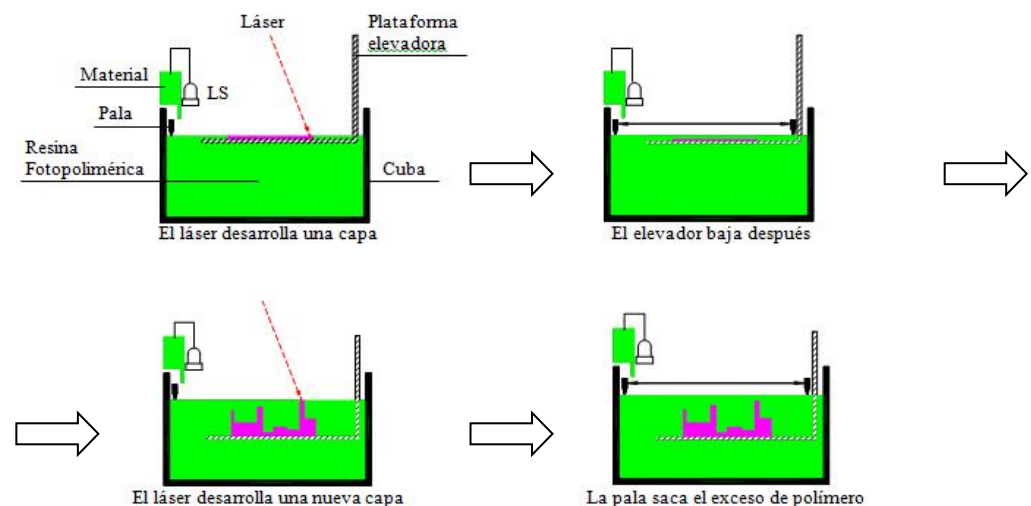


Imagen 4: esquema de impresión por estereolitografía. Fuente: www.trainingcenter.es

Se repite el proceso capa a capa y una vez que el objeto se ha completado, se procede a retirarlo de la plataforma de soporte para secarlo y retirar el exceso de resina, derivado de la frecuente necesidad de crear soportes para que el objeto no deforme según se va solidificando por la acción de la gravedad (los soportes suelen ser generados de forma

automática, aunque pueden requerir la intervención manual). Los soportes son retirados manualmente y posteriormente se procede a efectuar un baño químico para acabar con imperfecciones superficiales y mejorar las especificaciones mecánicas del objeto. Por último, se introduce el objeto en un horno de luz ultravioleta durante aproximadamente una hora para efectuar un endurecimiento final.

2.3.2. Sinterizado selectivo por láser (SLS)

Nació a finales de los años 80, desarrollada por Carl R. Deckard, que creó la empresa Desk Top Manufacturing, la cual fue en 2001 adquirida por 3D Systems. Pese a tener ciertas similitudes con la tecnología SLA, se diferencia básicamente en que utiliza el material de fabricación en forma de polvo (cerámicas, cristales, nylon, poliestireno y metales entre otros), no necesita la creación de soportes durante el proceso de fabricación y las piezas formadas por este método soportan temperaturas más elevadas, aunque la precisión de impresión, aun siendo de las mejores en comparación con otras tecnologías de impresión, se reduce aproximadamente a la mitad frente a la estereolitografía (0,1 mm para SLS frente a los 0,05 mm del SLA).

Es una técnica de fabricación por adición, en que se deposita una capa de polvo (material de fabricación) de unas décimas de milímetro (grosor de las capas que formarán el objeto), sobre una plataforma de soporte, que se ha calentado a una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión del polvo. Seguidamente, un láser, generalmente de CO₂, sinteriza el polvo en los puntos seleccionados causando que las partículas se fusionen y solidifiquen, formando así la capa inferior del objeto, que estará en contacto con la plataforma de soporte y rodeada por el resto del polvo no sinterizado, que actuará como soporte para la formación de las capas posteriores y que será reutilizable una vez acabado el proceso de fabricación del objeto. A continuación, se cubre esta capa completamente con otra capa de polvo de material haciendo descender la plataforma de soporte y esparciendo más polvo a través de un rodillo alimentador y se procede a la compactación de la siguiente capa, que quedará solidificada sobre la primera capa allí donde haya sinterizado y sobre el polvo sobrante en el resto. A su vez, la nueva capa queda rodeada de polvo en el resto del nivel. El proceso se repite hasta formar por completo el objeto deseado.

La siguiente imagen facilita en gran medida la comprensión del proceso de fabricación por sinterizado selectivo por láser descrito:



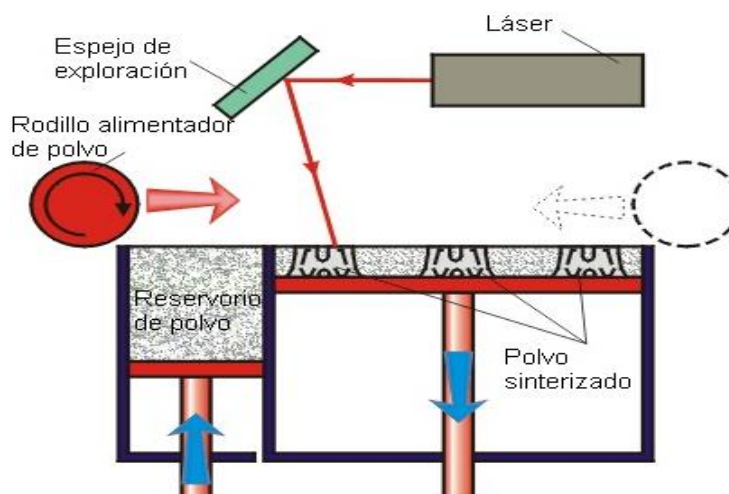


Imagen 5 : esquema de la tecnología de impresión SLS. Fuente: www.tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es

2.3.3. Modelado por deposición de fundente (FDM)

El modelado por deposición de fundente es una tecnología desarrollada por S. Scott Crump a finales de la década de los 80 y comercializada a partir de 1990 por la empresa de su propia creación Stratasys, que al igual que 3D Systems, sigue siendo una de las más importantes en el ámbito de la impresión tridimensional.

Se trata de la técnica más común en cuanto a impresoras 3D de uso doméstico, debido a los menores costes asociados frente a otras tecnologías como SLA y SLS, la mayor simplicidad del proceso de impresión y la amplia involucración de proyectos altruistas como RepRap y Fab@Home en hacer la impresión 3D (con esta tecnología) más accesible. Los resultados, aunque muy correctos, no suelen ser comparables en términos de precisión de impresión y calidad de los acabados con los que ofrecen las impresoras 3D por SLA y SLS.

El término 'modelado por deposición de fundente' y sus siglas FDM están registrados legalmente por Stratasys, por lo que a menudo se utiliza el término acuñado por miembros de la comunidad RepRap 'fabricación por filamento fundente' y sus siglas FFF como alternativa para no vulnerar ningún aspecto legal, aunque la tecnología de impresión asociada es la misma. ("Wikipedia", 2016). En adelante, en este informe se utilizarán indistintamente ambos términos y sus siglas.

El proceso de impresión comienza normalmente con un rollo de material, formado por un filamento enrollado en una bobina. Uno de los extremos del filamento de material está fijado a la bobina, mientras que el otro se hace llegar hasta una boquilla de extrusión de la impresora, donde se funde el material, ya que ésta se encuentra a una temperatura superior a la de fusión del material, formándose un hilo muy fino (del orden de pocas décimas de milímetro) que se deposita en la plataforma de soporte formando la capa inferior del objeto

a través de movimientos en el espacio de la boquilla, de la plataforma o de ambas. La plataforma de soporte suele estar también a una elevada temperatura, aunque no tanto como la boquilla para evitar grandes saltos térmicos que provocarían problemas en la adhesión entre las capas. Una posibilidad en cuanto a los movimientos, por ejemplo, es que la boquilla se mueva en una de las direcciones del plano paralelo a la plataforma, horizontal, y en la dirección perpendicular a dicho plano variando la altura, mientras que la plataforma se mueva en la dirección restante del plano de la propia plataforma. Una vez finalizada la primera capa la boquilla sube ligeramente (o la plataforma baja) y se pasa a generar la siguiente capa sobre la formada previamente y sobre soportes generados automáticamente por el software de control de la impresora que sean necesarios para vencer la acción de la gravedad en las partes de la capa que queden sin apoyo. El proceso se repite hasta formar el objeto deseado.

A continuación, se muestra una imagen del esquema del equipo típicamente implicado:

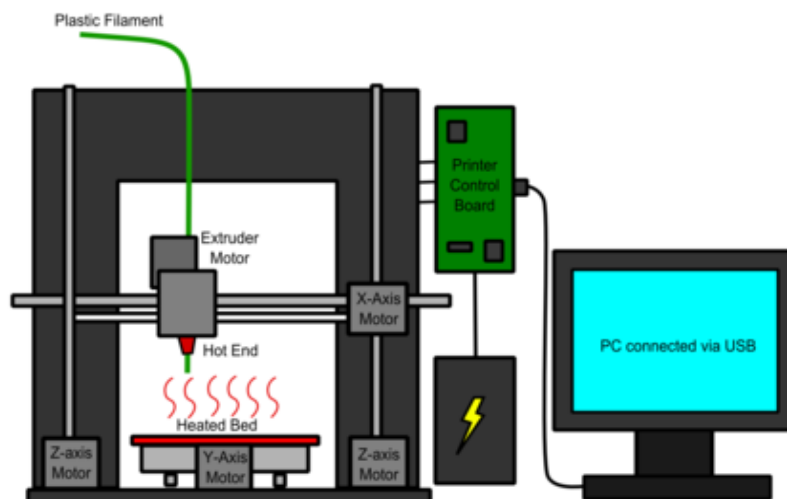


Imagen 6: esquema de un equipo de FDM. Fuente: www.impresoras3d.com

Ya que ésta es la tecnología de impresión empleada para fabricar los prototipos de este proyecto, se procede a cuantificar y explicar con más detalle los aspectos que intervienen en el proceso de la tecnología de impresión FDM o FFF:

Materiales en FDM:

Típicamente termoplásticos, entre los que destacan el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y el ácido poliláctico (PLA).

“El 95% del mercado de impresoras personales utiliza dos materiales: ABS y PLA”. (Impresoras3D, 2013).

Comparativamente, destacar que el ABS ofrece mejores propiedades mecánicas, no es tan



rígido como el PLA, soporta temperaturas más altas y su trabajo de post impresión es más sencillo, pero durante su proceso de impresión se emiten gases nocivos y requiere un mayor gasto energético derivado de la mayor temperatura de fusión.

El PLA, por su parte, destaca positivamente por ser biodegradable, ofrecer una gama de colores mayor que el ABS y unos acabados más suaves, no requerir unas temperaturas tan altas de extrusión (200 °C para el PLA frente a los 240 °C del ABS). Sin embargo, en aspectos como propiedades mecánicas y durabilidad no llega al nivel ofrecido por el ABS.

Por sus características, muchas veces se asocia el ABS con el uso industrial y el PLA con el uso doméstico.

Aunque el ABS y el PLA sean los dos materiales más utilizados, cualquier otro material que se adapte a la tecnología, es decir que pueda ser extruido por la boquilla, ablandándose a la temperatura de ésta, es factible para ser utilizado en impresión por FDM. Los termoplásticos son los más recurrentes (filaflex, PVA, HIPS), aunque ceras, composites e incluso comida (chocolate en repostería) han sido ya utilizados en impresión 3D con esta técnica.

Estado y forma del material en FDM:

El material de impresión se encuentra normalmente en estado sólido en forma de filamentos (hilos en el caso de plásticos o alambres en el caso de metales) enrollados en bobinas.

Diámetro típico del filamento de material comercializado de 1,75 o 3 mm, en bobinas de 1 kg de peso. A continuación, se muestra la imagen de una bobina de filamento:



Imagen 7: bobina de 1 kg de filamento de PLA de 1,75 mm de diámetro. Fuente: www.bcrndynamics.com

Movimientos en FDM:

Los movimientos generados para llevar a cabo la impresión, tanto de la boquilla de extrusión como de la plataforma de soporte son generados a través de servomotores y/o motores paso a paso, alimentados por la corriente eléctrica.

2.4. Aplicaciones en ingeniería

En esta sección se presentan algunas aplicaciones destacables en el ámbito ingenieril en que se emplean impresión 3D. Las posibilidades son ilimitadas en éste y cualquier otro ámbito de producción, y su uso dependerá de muchos factores como la disponibilidad de maquinaria, software y conocimientos de la técnica, las necesidades mecánicas de los objetos a producir entre otros aspectos, pero en general, el uso de esta técnica de fabricación está extendida en el diseño de prototipos y en la producción de objetos en series de fabricación cortas.

2.4.1. Prototipos

Aunque hoy en día la impresión 3D ya no está limitada a la realización de prototipos, y cada vez se extiende más para la fabricación del producto final, por sus características, sigue siendo ideal emplear esta técnica de fabricación para producir prototipos. Con el análisis de éstos junto a simulaciones numéricas se puede garantizar que el proceso de diseño es correcto, pudiendo evaluar tanto aspectos estéticos y ergonómicos, como de funcionalidad, comportamiento y concordancias geométricas (aspecto crítico en ensamblajes).

Al ser un campo en el que tiene tanta importancia la continua realización de prototipos por ser tan determinantes las mejoras que se puedan hacer, por pequeñas que sean, se destaca el papel de la impresión 3D en automoción, y concretamente en la fórmula 1, donde comprobar la aerodinámica es un punto clave. A continuación, se muestran dos imágenes relacionadas:

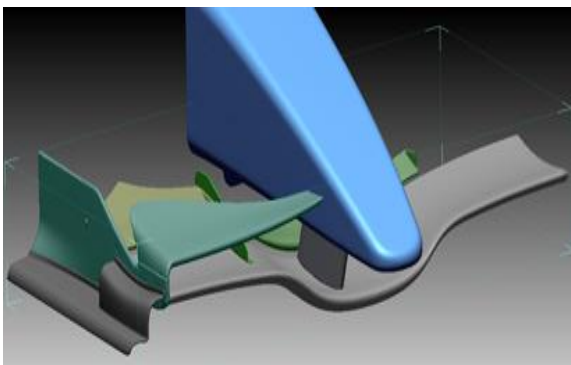


Imagen 8: diseño del morro de un monoplace. Fuente: www.asorcad.es



Imagen 9: prototipo de fórmula 1 fabricado por impresión 3D. Fuente: www.todoimpresoras3d.net

Caterham, Lotus y Red Bull empezaron a emplear en 2014 la impresión tridimensional para la fabricación de muchas de las piezas de sus prototipos. (TodoImpresoras3D, 2014).



2.4.2. Recambios

En el ámbito industrial es habitual que se produzca desgaste y rotura de piezas, las cuales no son en ocasiones fácilmente sustituibles porque no haya posibilidad de adquirir la pieza sustituta y no se disponga del diseño de la pieza para fabricarla. En estos casos, una solución viable y cada vez más empleada, es efectuar la digitalización de ésta, repararla digitalmente para llegar al estado original y posteriormente efectuar la fabricación mediante impresión 3D (si el estado de la pieza lo permite).

La siguiente imagen ilustra el proceso de forma clara pasando de una pieza que puede haber sufrido desgaste o rotura y llegando a la obtención del recambio:

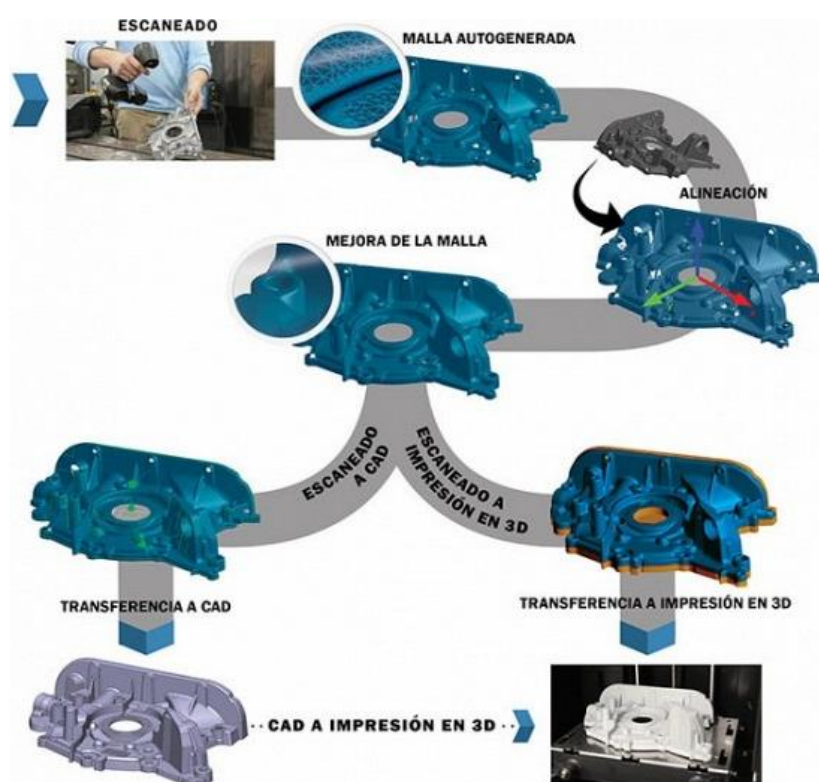


Imagen 10: esquema del proceso de obtención de recambio de una pieza que ha sufrido desgaste. Fuente: www.asorcad.es

Esta técnica es interesante ya que permite obtener el modelado de la pieza y guardar el diseño para futuras necesidades.

2.4.3. Productos finales

En cuanto a productos finales el abanico de aplicaciones se vuelve enorme. Normalmente, la utilización o no de impresión 3D no dependerá de la mayor conveniencia en emplear otro sistema de fabricación ni de la capacidad de la impresión tridimensional de lograr fabricar el

producto, ya que, debido a su versatilidad y la disponibilidad de distintas técnicas en esta tecnología, en casi todos los casos será posible su empleo como método de fabricación.

Muestra de ello pueden ser los siguientes ejemplos que, al requerir una avanzada tecnología, ilustran la enorme capacidad de este sistema de producción.

- Circuitos electrónicos: automatiza el proceso de soldado en los circuitos, reduciendo tanto costes como tiempo de producción. En la siguiente imagen se puede ver una impresora de la empresa canadiense Voltera, que pone a la venta su equipo por 2.200 euros, imprimiendo un circuito electrónico:



Imagen 11: impresora de Voltera produciendo un circuito integrado. Fuente: www.computerhoy.com

- Biotecnología: prótesis de diversas partes del cuerpo son ya producidos usando técnicas de impresión 3D, abaratando costes, y haciéndolas llegar a lugares donde de otra forma sería inviable. Incluso tejidos y órganos son generados, a base de capas de células vivas que son depositadas sobre un medio de gel y superpuestas una sobre otra para formar estructuras tridimensionales.



Imagen 12: audífono fabricado por impresión 3D. Fuente: www.impresion3d.com



Imagen 13: prótesis de mano, mayoría de los componentes impresos con Prusa i3 (RepRap). Fuente: www.elconfidencial.com



- Coche eléctrico LM3D: su diseño fue el ganador de un concurso realizado en 2014 por la empresa Local Motors, que fabricó y probó la funcionalidad del prototipo, a diferencia de otros proyectos similares en los que no se había llegado hasta ese punto, y que ahora se encuentra en etapas de desarrollo con la intención de llegar a comercializar el vehículo en el año 2017.

Pretenden que un 90% del coche esté fabricado por impresión 3D con ABS (mayormente) y fibra de carbono como materiales. Su principal ventaja es la enorme reducción del número de piezas que forman el vehículo, del alrededor de 5.000 de un coche convencional a aproximadamente 50. A continuación se muestran dos imágenes, la primera donde se puede apreciar el proceso de impresión de la carrocería y la segunda con el prototipo plenamente funcional:

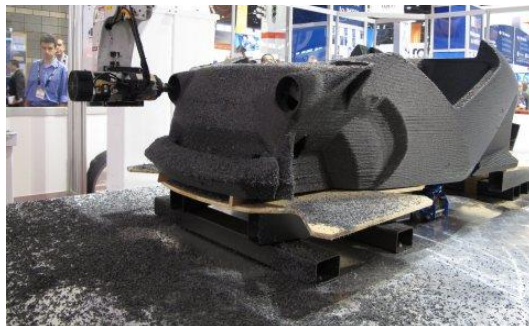


Imagen 14: proceso de fabricación LM3D. Fuente: www.silicon.es



Imagen 15: prototipo de LM3D. Fuente: www.autobild.de

- Otros ámbitos: aunque se han tratado las aplicaciones más relacionadas con las ingenierías, cabe destacar que la impresión 3D se emplea ya en otros muchos ámbitos como el doméstico, educación, arquitectura, arte y joyería entre otros, para fabricar desde figuras, juguetes y herramientas hasta piezas de robots, drones e incluso casas y alimentos. En las siguientes imágenes se muestran dos ejemplos:



Imagen 16: ejemplo de impresión 3D en arte. Fuente: www.enter.co



Imagen 17: ejemplo de uso de impresión tridimensional en joyería. Fuente: www.make-r.co

3. El mercado de las fundas de protección para teléfonos móviles fabricadas por impresión 3D

El producto objeto de este proyecto está pensado para cubrir la demanda de fundas de protección para aquellos dispositivos cuya oferta es nula o muy reducida, así pues, abriría una nueva sección dentro del mercado de las fundas de protección.

Para cumplir con el objetivo de este capítulo (obtener unas referencias en cuanto a precios, materiales, tiempos, capacidad de personalización, etc.), se estudia el mercado de las fundas de móvil fabricadas por impresión 3D, ya que es para el único tipo de dispositivo para el que hay un repertorio bastante amplio de fundas producidas por este sistema de producción.

Existen varias empresas que ofrecen fundas de protección fabricadas mediante impresión 3D en distintas modalidades, a continuación, se estudian algunas de las más destacables actualmente (principios de 2016).

3.1. Fabricantes de móviles

Primeramente, se muestra la información sobre las opciones que ofrecen los fabricantes de móviles, ya que éstos venden dispositivos a grandes cifras de usuarios y, por lo tanto, son una referencia a tener muy en cuenta.

3.1.1. BQ

Es el único fabricante puntero en el sector que ofrece un modelo de funda de protección fabricado por impresión tridimensional. No es de extrañar, pues esta compañía española está fuertemente interesada en la impresión 3D y comercializa productos que la hacen llegar al público general, basando su oferta en productos de gama media-baja con unos precios competitivos. Este hecho queda patente al visitar su página web, donde ofrece desde impresoras para profesionales (Witbox 2, por 1690 €) pasando por un modelo que por sus características está a medio camino entre el uso profesional y el doméstico (Hephestos 2, por 849,90 €) hasta su propia versión del modelo para uso doméstico Prusa i3, que forma parte del proyecto RepRap (por 499,90 €). Junto con el escáner 3D de uso doméstico Ciclop (a la venta por 249,90 €) y las bobinas de PLA (1 kg de filamento de diámetro de 1,75mm en diversos colores por 19,90 €) componen la oferta de la empresa en este campo. Cabe destacar también la existencia y la alta actividad de foros en su página web, donde usuarios y moderadores de la propia empresa comparten sus experiencias y dudas relacionadas con estos productos.



BQ ofrece la funda 'Circa Shape Cover', para sus modelos de teléfono móvil M5 y E5, por un precio de 29,90 euros. A continuación, se muestran dos imágenes de la funda:



Imagen 18: parte delantera de la funda Circa de BQ. Fuente: www.bq.com

Imagen 19: parte trasera de la funda Circa de BQ. Fuente: www.bq.com

Esta funda está impresa en 3D mediante la técnica de sinterizado selectivo por láser (SLS), utilizando nylon como material y un láser de CO₂ para efectuar el sinterizado, lo que permite reproducir estructuras geométricas imposibles de realizar con moldes tradicionales. Tiene un grosor de 1,5 mm y un peso de 15 gramos. (bq.com, 2016). Destacar que dicho grosor coincide con el empleado en la realización de los prototipos del proyecto, por ser el mínimo fijado por el servicio de impresión empleado para llevar a cabo las impresiones de los prototipos. Este hecho hace pensar que es un grosor adecuado para las fundas.

Como aspecto a comentar, destacar que no ofrecen ninguna capacidad de personalización al consumidor en la funda, aspecto que se puede considerar como sinónimo de no aprovechar al máximo las virtudes de la tecnología de impresión 3D. La facilidad para ofrecer capacidad de personalización se considera una gran oportunidad asociada con esta tecnología de producción, y por lo tanto se considerará su incorporación como aspecto clave. Algo tan simple y sencillo de implementar como añadir un pequeño texto en forma de hueco en la funda resulta atractivo, pues da exclusividad a la funda.

3.1.2. Fairphone

El proyecto Fairphone nace durante el año 2010 en Ámsterdam con la idea de fomentar una electrónica más justa, marcándose como objetivo concienciar a la sociedad sobre los graves conflictos (en el Congo, por ejemplo) derivados de la extracción de los minerales necesarios para fabricar los dispositivos electrónicos.

Fairphone es un teléfono móvil en cuya creación se intenta respetar el medioambiente y las condiciones de todos los trabajadores implicados en el proceso de producción del dispositivo, tanto en la obtención de las materias primas, como en el diseño y la fabricación.

Las fundas impresas son comercializadas a un precio de venta de 18 euros, aunque ofrecen gratuitamente los modelos para descargar, pudiéndolos modificar e imprimir posteriormente.

Seguidamente se muestran dos de los distintos modelos disponibles para descargar en su página web:



Imagen 20: funda fairphone, modelo engranajes.
Fuente: www.fairphone.com



Imagen 21: funda fairphone, modelo bicicletas.
Fuente: www.fairphone.com

Se piensa que ofrecer los modelos en CAD, listos para imprimir, gratuitamente es una opción demasiado generosa, aunque sí que parece una opción a tener en cuenta. Ofrecer el modelo en formato imprimible por un precio al 50% del impreso, por ejemplo, parece una opción a valorar en caso de llevar a cabo las fases de construcción y explotación del proyecto.



3.1.3. Apple y nokia

Por otra parte, aunque no ofrecen la venta de fundas de protección producidas por fabricación aditiva, cabe destacar que Apple tiene publicado un documento en su página web con consejos y recomendaciones para producir fundas para algunos de sus productos, así como los planos de los diseños de muchas de las versiones de sus dispositivos más emblemáticos (iPhone, iPad y iPod). Estos planos facilitan en gran medida el diseño de las fundas de estos dispositivos.

A modo ilustrativo se muestra la parte de los planos del móvil iPhone 3G que serviría para diseñar el hueco de la cámara (distancias expresadas en milímetros):

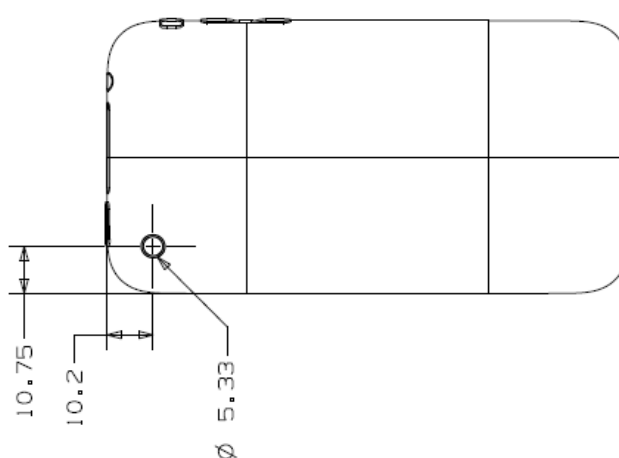


Imagen 22: medidas detalladas de la cámara fotográfica del iPhone 3G. Fuente: www.apple.com

Por último, destacar que Nokia ofrecía desde mediados de 2013 los modelos en CAD de las fundas de los modelos Lumia 820 y Lumia 520, que permitían la descarga, personalización e impresión de los diseños. Estos archivos ya no están disponibles en las fuentes oficiales, aunque se ha conseguido una imagen de los modelos que ofrecían a través de otro portal:

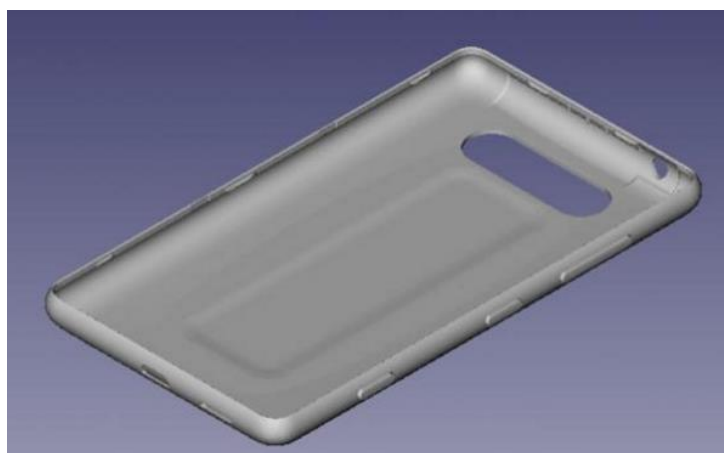


Imagen 23: modelo en CAD de la funda del teléfono móvil de Nokia Lumia 820. Fuente: www.xataka.com

3.2. Portales dedicados a la venta de fundas

A continuación, se estudian los portales 3Dpcase y Ucreate3D, que se dedican a la venta de fundas de protección para teléfonos móviles producidas por impresión tridimensional.

3.2.1. 3Dpcase

Servicio de venta perteneciente a la empresa francesa Sculpeo, fundada en 2009 y especializada en la impresión 3D con servicios en la nube.

La empresa fue galardonada en 2013 con el premio “Best of CES Innovations Award” en la prestigiosa feria de electrónica “Consumer Electronics Show” de las Vegas por el servicio prestado en 3dpcase.

En este servicio, se ofrecen fundas de protección personalizables fabricadas por impresión 3D de los modelos de Apple (iPhone: 3G, 4, 4S, 5, 5S y 5C) y de Samsung (ACE, SII, SIII, SIII mini y note II) en un rango de precios que van desde los 26 euros, para los modelos de menor tamaño, hasta los 50 euros para los de mayores dimensiones. Relacionar el precio de venta con el tamaño del objeto a producir es algo que se considera lógico, debido a la proporcionalidad entre el volumen de material a emplear y el coste y tiempo de fabricación, y sería un criterio a tener en cuenta a la hora de fijar los precios de venta en la fase de explotación, aunque para efectuar el estudio de viabilidad económica no se tendrá en cuenta esta relación porque complicaría en exceso el análisis.

En casi todos sus modelos de fundas de protección ofrecen capacidad de personalización, siendo las siguientes las opciones de personalización las más destacables:

- Posibilidad de introducción de un texto en forma de hueco en la carcasa e incorporación (también en forma de huecos en la funda) de dos perfiles de caras de fotografías que el cliente carga en la página web:



Imagen 24: funda de 3dpcase para iPhone 5c (25,91€).
Fuente: www.3dpcase.sculpeo.com



Imagen 25: funda de 3dpcase para iPhone 5 (29,90€). Fuente: www.3dpcase.sculpeo.com



Por simplicidad y previsión del interés por parte de los usuarios potenciales se considera imprescindible la personalización a través de la introducción de texto en la carcasa, pero no la de introducir los perfiles de las caras de los usuarios, aunque resulte muy novedosa y dé una idea del enorme abanico de posibilidades de personalización que ofrece la impresión 3D.

- Incorporación en forma de relieve de un entorno geográfico seleccionado a través de google maps:

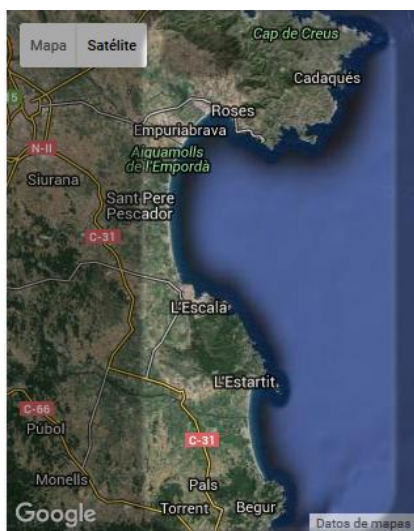


Imagen 26: selección de geografía.
Fuente: www.3dpcase.sculpeo.com

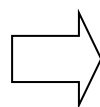


Imagen 27: funda de 3dpcase para iPhone 5 (34,91€).
Fuente: www.3dpcase.sculpeo.com

Aunque resulte muy novedosa y atractiva, tampoco se considera que esta capacidad de personalización sea incorporable por la complejidad técnica asociada y porque el método puede estar registrado para no ser replicable por ley, aunque al igual que la opción de introducir perfiles de caras puede servir como inspiración, como ilustración de las variadas capacidades de personalización que ofrece la tecnología de impresión tridimensional.

3.2.2. Ucreate 3D

La empresa UCreate3D, afincada en San Francisco, ofrece fundas de protección producidas por manufactura aditiva para los teléfonos móviles iPhone (6, 6S, 6 Plus, 6S Plus, 5, y 5S) de Apple, los Galaxy (S6 y S5) de Samsung y el Nexus 5 de Google.

Sus modelos de fundas, a diferencia de los ofertados en 3dpcase no ofrecen capacidad de personalización alguna, aunque cabe destacar que los precios son más asequibles y se tendrán en cuenta a la hora de fijar los precios para efectuar en el análisis de viabilidad económica (todas las fundas están a la venta a un precio de venta de 18 €).

Algunos de los modelos de funda, disponibles para todos los modelos de teléfono son:



Imagen 28: algunas de las fundas ofertadas por ucreate3D para el iPhone 5. Fuente: www.ucreate3d.com

Con el objetivo impuesto en cuanto al precio a establecer de no superar en más de un tercio al precio de la funda de la competencia (fabricada por impresión 3D), se fijaría como precio máximo en el caso de comercializar fundas para este modelo y similares en 24 euros.

3.3. Portales de fundas diseñadas por usuarios

A continuación, se estudian dos de las más populares páginas webs en las que se pueden encontrar diseños de toda clase de objetos listos para para imprimir creados y subidos por usuarios particulares. Existen bastantes portales de este estilo, donde las principales diferencias radican en si los modelos son o no de pago y en si la página ofrece la posibilidad de efectuar la impresión y hacer el envío del objeto ya fabricado. Los portales aquí estudiados, Shapeways y Thingiverse, destacan ya que son aquellos que llevan más tiempo en funcionamiento y en éstos existe una gran oferta de fundas de móviles. Otros de los más destacables y similares a éstos son: grabcad, cgtrader, 3dshook, phygora, en3d, rascomras, etc. Además, el portal yeggi.com es un buscador que rastrea en los diferentes portales según los criterios de búsqueda indicados.

3.3.1. Shapeways

Shapeways es una empresa alemana, fundada en 2009 y afincada actualmente en Nueva York cuya actividad se basa en ofrecer un portal en internet que sirve como escaparate para cualquier usuario que diseñe y quiera comercializar su diseño. Los usuarios suben sus modelos a la página web y Shapeways imprime y envía a los compradores los objetos diseñados.

Shapeways ofrece una gran variedad en la impresión, ofreciendo varios materiales y colores



de impresión y obtiene beneficios a través de una comisión que cobran por la venta de cada objeto a través de su web. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo:



Imagen 29: ejemplo de funda para iPhone 6 (18,90€) de Shapeways. Fuente: www.shapeways.com

Una vez finalizado el servicio de diseño e impresión para un cliente, poner a la venta el modelo de la funda del objeto en este tipo de portales sería una opción a considerar en la fase de explotación, ya que, si se considerara que podría tener demanda, se podrían obtener más beneficios y ofrecer la funda al cliente origen por un precio menor. Se tendría que valorar en cada caso en particular la conveniencia de bajar el precio del servicio (para no reducir beneficios), dependería de lo exitoso que sea el dispositivo. Por ejemplo, sería una gran opción para modelos de ordenadores portátiles populares, ya que se podría prever un éxito considerable, pero no para aquellos modelos de dispositivos menos populares.

3.3.2. Thingiverse

Thingiverse es una web, creada en 2008 por la empresa MakerBot, donde se comparten los diseños creados por usuarios en formato de CAD, que cualquier otro usuario puede descargar y modificar gratuitamente, pudiendo proceder a la posterior impresión.

Se han encontrado bastantes diseños de particulares de fundas de los modelos de móviles más populares (iPhone y Samsung Galaxy). Algunos ejemplos:



Imagen 30: diseño de funda Galaxy SIII de Samsung. Fuente: www.thingiverse.com



Imagen 31: funda impresa para iPhone 6. Fuente: www.thingiverse.com

Además, cabe destacar que en este portal (y otros similares) hay disponibles una gran variedad de carcasas para la placa de hardware libre raspberry pi, uno de los objetos en los que se había pensado a la hora de diseñar carcasas. Un ejemplo:



Imagen 32: ejemplo de carcasa para raspberry pi. Fuente: www.thingiverse.com

Estos portales (Shapeways, Thingiverse, Phygora, Grabcad y similares), ofrecen posibilidades de comercializar tanto fundas impresas como modelos en formato digital, lo que permitiría tanto aprovechar los modelos diseñados por demanda de clientes como diseñar fundas para aquellos en los que se pudiera prever una demanda suficiente para generar beneficios, por ejemplo para la calculadora gráfica 50g de HP, por ser de uso habitual para los estudiantes universitarios de carreras técnicas (ingeniería, arquitectura...). Por esta razón, junto a la disponibilidad del dispositivo, se considera oportuna la producción de un prototipo de funda de protección para esta calculadora.



4. Caracterización de los usuarios potenciales

Con el objetivo de conocer tanto los hábitos de consumo relacionados con la compra de fundas de protección, como la predisposición a pagar y las preferencias de las características de las fundas por parte de usuarios potenciales, se ha realizado una encuesta a través de los formularios de Google Drive. Se han recibido 51 respuestas. El formulario y las respuestas pueden consultarse en los anexos A y B respectivamente.

Para conocer los hábitos de consumo se han incluido preguntas sobre la compra de fundas de protección para teléfonos móviles, por ser el objeto más habitual para el que se compra funda de protección del dispositivo durante su utilización.

Para conocer las preferencias sobre las características de las fundas se han incorporado cuestiones sobre el posible interés en la capacidad de personalización y sobre la importancia de la variedad de colores en las fundas.

En cuanto a precios, se ha preguntado cuanto pagaron por su funda de móvil actual, cuanto estarían dispuestos a pagar por una funda para un aparato para el que no exista oferta y si estarían dispuestos a pagar más porque la funda en cuestión fuera de diversos colores.

A continuación, se comentan algunos de los resultados más destacables:

- Un 74,5% de los encuestados son usuarios de alguna funda de protección para su teléfono móvil. De éstos:
 - En cuanto al tipo de funda, la mayoría, un 68,4%, utilizan una funda del tipo clásica, que se ha definido como aquella que cubre la parte lateral y trasera del teléfono. Otra parte importante, el 15,8% de los que utilizan fundas, usan del tipo que sólo cubre la parte lateral. El resto utiliza fundas del tipo que cubren completamente el teléfono, ya sea con tapa en la parte delantera o de tipo saco en que para utilizar el teléfono se debe extraer de la funda. En la siguiente imagen se muestra la distribución completa detallada:

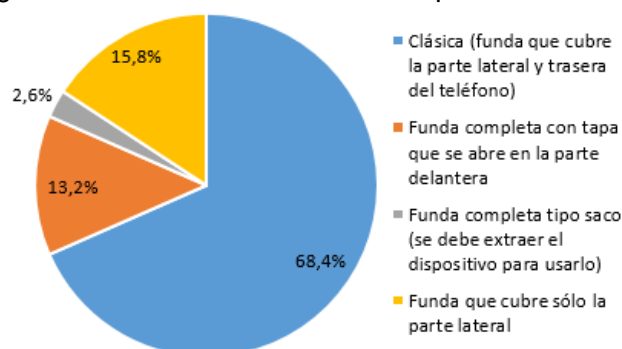


Imagen 33: distribución del tipo de funda de teléfono móvil en uso. Fuente: elaboración propia.

Se considera que es suficiente con diseñar fundas del tipo clásica y del tipo que cubre sólo la parte lateral, ya que se cubrirían las necesidades del 84,2% de los encuestados.

- Respecto al precio pagado por la funda de móvil actual, un 23,1% pagó entre 1 y 5 euros por la funda, un 48,7% entre 5 y 10 euros y un 10,3% entre 10 y 20 euros. El 17,9% restante se reparte de forma casi equitativa entre los que pagaron más de 20 euros por la funda, los que no recuerdan cuanto pagaron y los que no pagaron nada porque fue un regalo. En la siguiente imagen se muestra el reparto de precios pagados completo:

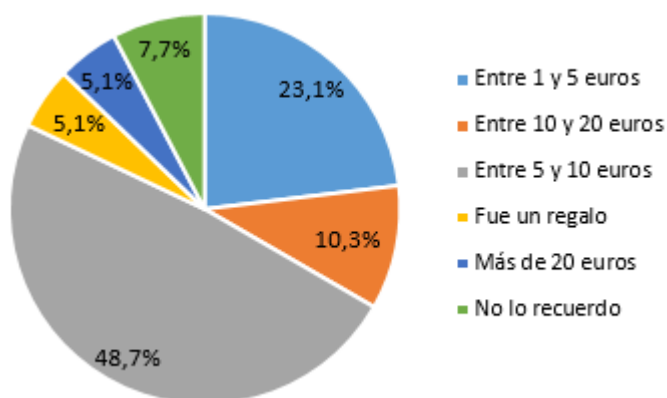


Imagen 34: distribución del precio pagado por los usuarios encuestados por la funda de su móvil. Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, un 71,8% no ha pagado más de 10 euros por su funda de móvil, hecho que hace pensar que el precio fijado para fundas similares a las de teléfonos móviles no podría ser muy superior a dicho precio. Se piensa que como máximo podría ser un 50% superior, es decir, se fijaría un máximo de 15 euros de precio para fundas de protección para teléfonos móviles y similares. Éste precio, además, respetaría el criterio de no sobrepasar en más de un tercio el precio del producto similar de la competencia, entendiendo ésta como la oferta de fundas fabricadas por impresión 3D y que como se vio era de 18 euros para las fundas impresas de Ucreate3D.

- Un 51% de los encuestados ha respondido que dispone de algún dispositivo para el cual le es difícil de encontrar en el mercado una funda de protección. De éstos, un 34,6% ha especificado el ordenador portátil como dispositivo para que no dispone de oferta de funda de protección, un 23,1% calculadoras gráficas y un 15,4% tablets. El resto son casos individuales de distintos aparatos electrónicos como videoconsolas, mandos para éstas, placas de hardware libre (raspberry pi), un cuentakilómetros para bicicleta y una afeitadora.



En base a estas respuestas, queda claro que sería muy importante que la impresora 3D tuviera capacidad para realizar impresiones de medidas suficientemente grandes para abarcar el diseño de las fundas de ordenadores portátiles (para los que haría falta unas dimensiones de impresión de aproximadamente 400x300x40 mm) por ser el dispositivo más citado, por lo tanto, la impresora debería tener una capacidad de impresión en cuanto a dimensiones mayor a la mayoría de las impresoras domésticas del mercado, que se sitúa en promedio en 225x207x196 mm para la tecnología FDM. Con estas medidas de impresión ni tan si quiera se podría imprimir diseños de fundas para aparatos de dimensiones menores, como tablets de 10" para las que haría falta un tamaño de impresión de 270x170x10, hecho que hace indicar que se deberán explorar otras opciones de mayor capacidad en cuanto a dimensiones máximas de impresión.

- En cuanto a la predisposición a pagar por parte de los encuestados por fundas para aparatos para los que no disponen de funda de protección, cabe destacar que el 90% contesta que no estaría dispuesto a pagar más de 15 euros, que solamente un 6% llegaría a pagar 20 euros y que un 4% no llegaría a pagar 10 euros. A continuación, se muestra el gráfico detallado de la predisposición de la cantidad máxima a pagar por parte de los usuarios encuestados:

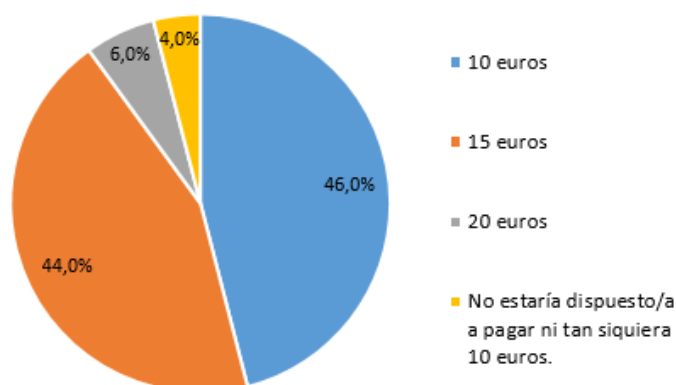


Imagen 35: predisposición a pagar por funda para aparato del que no se dispusiera de oferta. Fuente: elaboración propia.

Suponiendo que los usuarios que no están dispuestos a pagar ni tan siquiera 10 euros sí lo están a pagar 6 euros, se calcula la media ponderada ($0,06 \cdot 20 + 0,44 \cdot 15 + 0,46 \cdot 10 + 0,04 \cdot 6$) y se obtiene como resultado que los usuarios encuestados estarían dispuestos a pagar 12,60 euros por una funda de un objeto para el que no encontrara oferta en el mercado. Aunque es lógico que la predisposición a pagar dependa de varios factores como el tamaño del objeto a proteger, la capacidad de personalización y el diseño de cada funda en particular, se tomará este valor como una referencia válida para efectuar cálculos del análisis de la viabilidad económica.

- La capacidad de personalización es un aspecto muy a tener en cuenta, pues solamente el 18,4% de los usuarios encuestados afirman no estar interesados en absoluto en que la funda tenga capacidad de personalización. El resto se reparte entre los que afirma que sería un aspecto determinante para decidir si comprar o no la funda y los que lo consideran preferible pero no determinante (la mayoría, un 57,1%). En la imagen siguiente se muestra la distribución al completo:

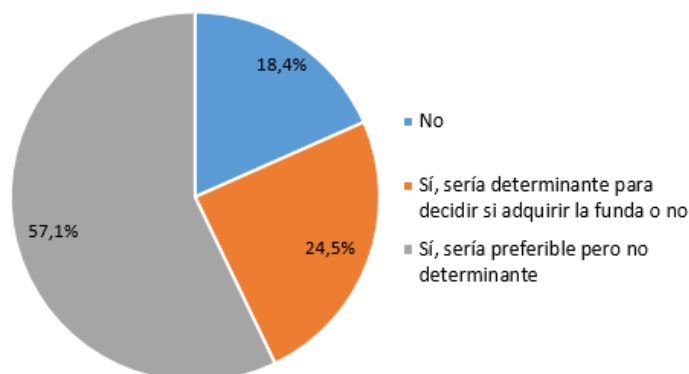


Imagen 36: respuesta a la cuestión referente a si la capacidad de personalización de la funda sería un factor determinante en la decisión de comprar. Fuente: elaboración propia.

En base a estas respuestas, se concluye que la capacidad de personalización es un aspecto clave a incorporar, ya que está bien visto por la mayoría de las personas encuestadas e incluso es un aspecto exigido por casi un cuarto de los encuestados.

- En el aspecto cromático, en el siguiente gráfico se muestra la distribución de las respuestas a la pregunta de si sería un inconveniente que la funda fuera de un solo color:

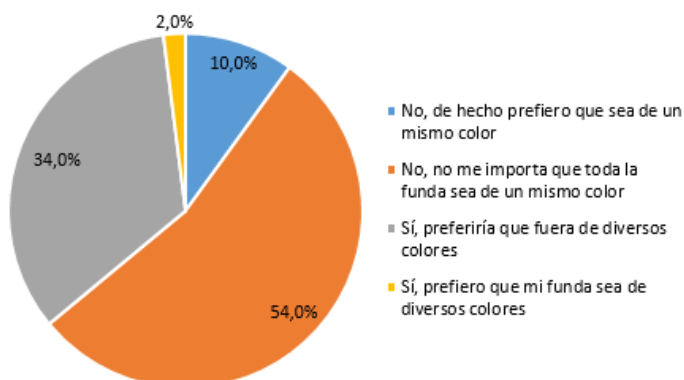


Imagen 37: distribución de respuestas a la pregunta referente a si sería un inconveniente que la funda fuera de un solo color. Fuente: elaboración propia.

Aunque la mayoría considera que no es un inconveniente determinante que la funda sea de un mismo color, cabe destacar que más de un tercio prefiere que sea de varios. Así pues, se piensa que una buena alternativa sería ofrecer la posibilidad de



que las fundas fueran de dos colores, ya que ésta es una capacidad que incorporan muchas de las impresoras de tecnología de impresión FFF utilizando dos boquillas independientes de extrusión (una para cada color). Aun así, se deberá evaluar la diferencia de precio de las impresoras implicadas, ya que de todos los encuestados, solamente el 18,4% afirma que estaría dispuesto a pagar hasta 5 euros más por la posibilidad de que la funda fuera multicolor (ningún encuestado ha respondido que estaría dispuesto a pagar hasta 10 euros más), así que el 81,6% restante sólo optaría por la opción multicolor si no supusiera ningún aumento en el precio.

- Por último, cabe destacar que ninguno de los usuarios encuestados ha contestado afirmativamente a la cuestión sobre si son usuarios de algún tipo de funda personalizada, aspecto que se puede ver como algo positivo porque muestra que sería un aspecto novedoso, pero también puede ser visto como que es algo que no interesa.

5. Especificaciones técnicas

En este capítulo se fijan una serie de especificaciones técnicas que se deberían cumplir para cualquier funda producida con el sistema desarrollado.

“Definimos las especificaciones técnicas en un proyecto como la descripción precisa de lo que el producto o la instalación resultante tienen que hacer para cumplir los objetivos del proyecto”. (Apuntes de la asignatura gestión de proyectos, Departamento de proyectos de ingeniería, ETSEIB-UPC)

Dichas especificaciones, expresadas en las siguientes tablas, se han definido a través de: la ampliación de los objetivos fijados previamente (sección 1.2), las respuestas a la encuesta realizada, la información hallada en cuanto a capacidades de las impresoras y los conocimientos y experiencia adquiridos en la producción de los prototipos de este proyecto.

Debido a que las impresiones se han realizado a través del servicio de impresión de la escuela, existen dos limitaciones de partida impuestas: grosor mínimo de las fundas de 1,5 mm y material de impresión (PLA). Estas limitaciones no se tendrán en cuenta a la hora de fijar las especificaciones, ya que solamente dependen del servicio particular empleado para realizar las impresiones, elección justificada por las ventajas en cuanto a precio del servicio.

Se distingue entre las especificaciones relacionadas con el proceso de producción (diseño e impresión) y las que ha de cumplir el objeto producido (funda de protección).

En cuanto al proceso de producción, se fijan las siguientes especificaciones:

PROCESO DE PRODUCCIÓN	Valor aceptable	Valor objetivo
Tamaño máximo de impresión	270x200x100 mm	400x300x100 mm
Tiempo para el diseño (objeto a tratar por primera vez)	4 horas	2 horas y 40 minutos
Tiempo para los diseños posteriores (objetos ya tratados)	24 minutos	16 minutos
Tiempo de impresión	4 horas	2 horas y 40 minutos
Precisión de la impresora (distancia máxima entre diseño e impresión)	0,2 mm	0,1 mm
Resolución de la impresora (altura mínima de las capas)	0,2 mm	0,1 mm

Tabla 2: especificaciones del proceso de producción. Fuente: elaboración propia.



Justificación y explicación de los valores establecidos:

- **Tamaño máximo de impresión:** el valor aceptable (270x200x100) se ha fijado como aquel con el que sería posible producir fundas para tablets de 10", mientras que el valor objetivo (400x300x100) permitiría producir fundas para portátiles de 15,6".
- **Tiempo para el diseño de la funda para un dispositivo a tratar por primera vez:** se fija como aceptable de 4 horas y objetivo de 2 horas y 40 minutos como los valores calculados del objetivo de diseñar dos y tres fundas respectivamente en una jornada laboral de 8 horas. Como se verá más adelante en el desarrollo de la metodología general de producción, para efectuar el primer diseño mediante este sistema se requiere disponer del objeto a proteger durante el proceso de diseño.
- **Tiempo para el diseño de funda de objetos ya tratados previamente:** se guardaría el diseño original y se utilizaría como base para los siguientes pedidos de fundas de este objeto, haciendo falta solamente la personalización y las modificaciones particulares necesarias (se estima que se reduciría el tiempo de diseño en un 90%).
- **Tiempo de impresión:** aunque dependerá del tamaño y la forma de cada funda se fija a modo de referencia aceptable en 4 horas y como objetivo en 2 horas y 40 minutos, como los valores calculados del objetivo de imprimir 2 y 3 fundas por jornada laboral de 8 horas respectivamente. El tiempo de 4 horas por impresión fijado se ajusta a lo empleado por el servicio de impresión de la ETSEIB para efectuar las impresiones de los prototipos.
- **Valores de precisión y resolución de la impresora:** en base a las capacidades medias de las impresoras analizadas y la necesidad de unos valores suficientemente ajustados de precisión y resolución de impresión para efectuar un encaje adecuado, se fija en ambas características como valor aceptable 0,2 mm y como valor objetivo 0,1 mm.

En cuanto a las especificaciones del producto, se fijan las siguientes características:

PRODUCTO	Valor aceptable	Valor objetivo
Juego máximo	1 mm (en cada una de las tres direcciones del espacio)	0,5 mm (en cada dirección)
Acabado superficial	Suave	Muy suave
Protección frente a caídas	Sí (15 caídas desde 1 m)	Sí (30 caídas desde 1 m)
Sensación de rigidez	Baja	Muy baja
Funda de varios colores	No	Sí, al menos dos

Tabla 3: especificaciones del producto. Fuente: elaboración propia.

Justificación y explicación de los valores establecidos:

- Juego máximo: aunque es difícil fijar un valor ideal alcanzable, por las características del encaje entre funda y dispositivo y la inspección en los prototipos, se cree que con 1 mm de juego en cada una de las tres direcciones la funda aún se mantendría encajada en el objeto (aunque que con poca sensación de estabilidad). Idealmente el juego ha de ser el mínimo posible en cada una de las tres direcciones del espacio, por lo que se fija como objetivo reducir el juego máximo permitido a la mitad.
- Acabado superficial: se hace referencia a la rugosidad superficial, que estará relacionada con la altura de las capas superpuestas (resolución de impresión), pero también a otros factores como el material utilizado, la temperatura de la plataforma de soporte (influencia en la adhesión entre capas), la velocidad de impresión, etc. Se considera suave si no produce una sensación desagradable al tacto y muy suave si es prácticamente lisa.
- Protección frente a caídas: aunque debido a que se han realizado prototipos de fundas para objetos de alto valor y operativos no se podrá comprobar esta especificación, se consideraría que protege aceptablemente frente caídas si al dejar caer el objeto con la funda puesta 15 veces desde una altura de un metro, ni el objeto ni la funda sufren desperfectos significativos. Estos valores son fijados en base a la estimación del número de caídas durante la vida útil de dispositivos portátiles y se fija como objetivo doblar el número de caídas sin sufrir desperfectos desde la misma distancia.
- Sensación de rigidez: se entiende como baja si la funda tiene cierta flexibilidad, es decir, permite una cierta deformación reversible ante pequeños esfuerzos, como por ejemplo forzar un lateral o una esquina para retirar la funda. Esta característica estará ligada al material empleado y a la geometría de diseño. Para plásticos como el PLA (el empleado para los prototipos) se considera necesario reducir el material para ganar cierta flexibilidad, mientras que para alcanzar el valor objetivo (sensación de rigidez muy baja) se considera que sería necesario el uso de otros materiales como plásticos flexibles como el filaflex. El inconveniente principal de los materiales flexibles es que exigen un mayor grosor del objeto a fabricar, lo que provocaría una sensación de demasiada tosquedad en el diseño.
Para poder hacer esta característica lo más objetiva posible se considera que la sensación de rigidez es baja si la funda (cumpliendo la especificación de juego máximo) es fácilmente extraíble y que la sensación es muy baja si es muy fácilmente extraíble, lo que puede significar poder realizar la extracción de la funda con una sola mano.
- Funda de varios colores: en base a las respuestas de la encuesta realizada se considera que es aceptable que las fundas sean de un solo color, pero el objetivo sería que pudieran imprimirse en varios. Idealmente se piensa en fundas multicolor



con una amplia gama cromática, pero un objetivo alcanzable sin un enorme sobrecoste en maquinaria sería el de imprimir en dos colores a través de impresoras de tecnología FDM que utilicen dos boquillas independientes de extrusión.

6. Viabilidad técnica

Para evaluar la viabilidad técnica de la fabricación de fundas de protección mediante impresión 3D se marca como objetivo la producción de dos fundas de protección (teléfono móvil y calculadora gráfica), así como un análisis, tanto del proceso de producción como de las fundas producidas que se basa en comprobar si se cumplen las especificaciones técnicas.

6.1. Sistema de producción

Se ha generalizado un sistema de producción sencillo de una funda de protección simple para cualquier objeto teniendo solamente como limitación de diseño la capacidad en cuanto a las dimensiones del sistema de escaneado. Además, también se debe tener en cuenta las limitaciones en las dimensiones de impresión, ya que, aunque a efectos de diseño no supondrían ningún problema, sí que serían determinantes en la fabricación por impresión.

En este apartado se hará referencia a la metodología técnica del proceso, para el caso de un objeto a proteger, a tratar por primera vez, del cual se tiene disponibilidad.

El sistema de producción desarrollado se basa en que a partir del modelo del objeto a proteger en CAD se simplificaría en gran medida el proceso de diseño de una funda.

El resumen de los pasos del proceso de producción es el siguiente:

1. Obtener el modelo del objeto a proteger en CAD en formato compatible con SolidWorks: se obtiene a través de escaneado 3D e ingeniería inversa.
2. Crear superficie de recubrimiento: mediante la herramienta 'equidistanciar superficie', del módulo de superficies del propio software SolidWorks, se crea una superficie de recubrimiento alrededor del objeto, que cubra toda la parte a proteger.
3. Primera aproximación a la forma: se hacen unos primeros cortes sobre la superficie de recubrimiento, que aproximen la forma final deseada para la funda. Este paso se realiza para evitar problemas a la hora de dar grosor a la superficie (siguiente paso). Se lleva a cabo a través de la herramienta 'recortar superficies' de SolidWorks.
4. Dar grosor a la superficie: a través del software de tratamiento de mallas Meshmixer se da un grosor adecuado a la superficie resultante del paso anterior, pasando a generar un sólido.
5. Dar la forma definitiva a la funda y añadir personalización: a través de la generación de croquis que definan la forma y personalización deseadas y de la herramienta 'extruir' del módulo de sólidos de Solidworks.
6. Impresión del diseño.



7. Comprobar ajuste y redimensionar en caso necesario: a través de la herramienta 'reescalar' de Meshmixer. En caso que el ajuste no sea el adecuado volver al paso 6, en caso contrario se da por finalizado el proceso de producción.

Se considera que el sistema de producción descrito, aunque puede no ser el más sofisticado, está compuesto de pasos sencillos y fácilmente replicables para cualquier otro objeto a tratar.

El sistema descrito se ejemplifica en la producción de la funda de la calculadora, entrando al detalle de cada paso y mostrando ilustraciones que facilitan su comprensión. No se utiliza dicho sistema para la producción del prototipo de la funda del teléfono móvil por la simplicidad del diseño de este dispositivo y por el hecho de no disponer del equipo necesario para realizar el escaneado 3D.

6.2. Funda para teléfono móvil Honor 6.

Se escoge este modelo, de la empresa Huawei, por estar a disposición del autor y para poder relacionar los distintos aspectos con las referencias obtenidas (tanto las derivadas del estudio del mercado de las fundas de protección para teléfonos móviles fabricadas por impresión 3D del capítulo 3, como las obtenidas a través de la encuesta del capítulo 4).

Por la simplicidad del diseño del dispositivo (y por consiguiente del diseño de una funda de protección simple para este dispositivo) y por el deseo de adquirir conocimientos sobre qué tipo de diseño es el más adecuado y para superar las dificultades surgidas durante la producción, se han realizado diversas iteraciones sobre el proceso de producción (diseño e impresión) de la funda. Se ha efectuado el diseño a través de las especificaciones de las dimensiones oficiales del teléfono (140x70x8 mm), tomando medidas del aparato y empleando el software de diseño en CAD SolidWorks.

6.2.1. Primera versión (base)

En primera instancia se efectuó un diseño bastante simple de la funda del teléfono, tratando de seguir el estilo del diseño más habitual de las fundas de móvil, que cubren la parte trasera del teléfono y los laterales, dejando los huecos necesarios para poder utilizar la cámara fotográfica y el altavoz, acceder tanto a los botones físicos para bloquear el dispositivo y subir/bajar volumen y poder conectar cargador y auriculares. El diseño base se muestra en las siguientes dos imágenes:



Imagen 38: parte delantera del diseño base de la funda del teléfono móvil. Fuente: elaboración propia

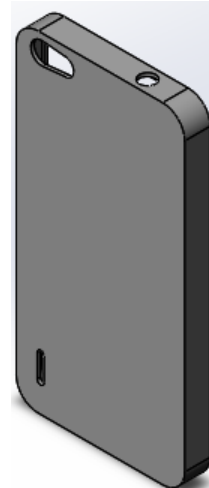


Imagen 39: parte trasera del diseño base de la funda del teléfono móvil. Fuente: elaboración propia.

Tras incorporar algunos detalles como el logo de la universidad en forma de huecos en la parte trasera de la funda, se procedió a la impresión de la funda en el aula de impresión RepRap de la escuela. El resultado fue el siguiente:



Imagen 40: primera versión de la funda para el móvil Huawei Honor 6. Fuente: elaboración propia.

Al imprimir y analizar el prototipo se vio que este diseño tiene algunos problemas que hacen que no cumpla las especificaciones y otros aspectos que, aunque no impiden el cumplimiento de éstos, sí que son aspectos claramente mejorables, por ejemplo:

- Los acabados en los huecos de las partes laterales (botones de subir/bajar volumen, bloquear el teléfono y los huecos diseñados para poder enchufar auriculares y el cargador del teléfono) tienen pequeñas irregularidades y algo de material sobrante (pequeños hilos en su mayoría fácilmente eliminables).
- Debido a la combinación de material (PLA) y la geometría de la funda, da sensación de demasiada rigidez, no permite enfundado y desenfundado fácilmente, por lo que no cumple con la especificación asociada.



- Debido a las limitaciones de impresión (grosor mínimo de impresión de 1,5 mm) y la geometría del diseño da la sensación de ser demasiado tosca.
- Dificil accesibilidad a los botones laterales, aun siendo los huecos de gran tamaño debido al grosor de la funda.

6.2.2. Versión definitiva

Una vez realizadas diversas iteraciones de diseño e impresión, logrado un encaje adecuado, identificados y tratados los aspectos a mejorar para cumplir las especificaciones y otros aspectos secundarios, se alcanzó el diseño definitivo. Se pueden consultar los planos detallados del diseño en el anexo C.

Para ello, destacar que se siguió el estilo del diseño de diversas fundas para dispositivos como tablets y libros electrónicos y de las fundas fabricadas por impresión 3D estudiadas en el capítulo 3 por ser objetos similares en cuanto a forma y materiales. Los diseños de estas fundas no están basados en cubrir totalmente la parte lateral y añadir los huecos necesarios para poder utilizar el dispositivo, sino en cubrir la parte lateral parcialmente. Así, se solventa la sensación de rigidez, de tosquedad debida al grosor, los problemas derivados de la presencia en los huecos de las partes laterales y se ahorra en material. El diseño definitivo y objeto impreso son los que se muestran en las siguientes dos imágenes:



Imagen 41: diseño definitivo de la funda para el teléfono móvil. Fuente: elaboración propia.



Imagen 42: versión definitiva impresa. Fuente: elaboración propia.

Tanto la funda obtenida como el proceso de fabricación cumplen la mayoría de las especificaciones fijadas, a excepción del tiempo de diseño, para el que se han empleado más de las 4 horas fijadas (en total unas 6) y el tamaño máximo de impresión (fijado en 252x200x200 mm por el uso de la impresora BCN3D+ de la fundación CIM). Además, debido a que el dispositivo a proteger es de alto valor, no se ha podido comprobar (aunque se cree que se cumpliría) la especificación de protección frente a caídas.

6.3. Funda para calculadora gráfica 50g

Se escoge como objetivo la producción de una funda de protección para este dispositivo ya que, además de estar a disposición para poder efectuar probaturas y cualquier manipulación, es un dispositivo para el que se podría prever cierta demanda, por ser de uso común en diversos ámbitos como el de los estudiantes en carreras de ingeniería y haber sido uno de los más mencionados como dispositivo para el que no se dispone oferta de funda de protección en el mercado en la encuesta realizada (capítulo 4).

En este caso, al tratarse de un objeto con una geometría más compleja que la del teléfono móvil, es un objeto ideal para probar y ayudar a desarrollar el sistema de producción general presentado en la sección 6.1. La geometría es más compleja que la del móvil ya que ésta cuenta con pequeñas curvaturas en las superficies exteriores que le dan forma, variación del grosor del objeto... A continuación, se muestra una imagen del dispositivo:



Imagen 43: calculadora 50g de HP. Fuente: elaboración propia.

En este caso concreto, la metodología de producción parte del modelo de la calculadora en CAD. A través del software de diseño empleado, SolidWorks, se recubre el modelo con una superficie en las partes a proteger (laterales y trasera, se debe dejar sin cubrir la parte delantera por ser la única que requiere acceso total para el uso), a la que sólo hace falta cortar aproximando la forma definitiva, dar el grosor adecuado, dar la forma definitiva y añadir detalles como la personalización en forma de texto implementado a base de huecos en la funda para obtener un diseño de la funda rápido y sencillo de realizar.

Así pues, el punto de partida de la metodología descrita es el modelo en CAD de la calculadora, el cual se ha podido obtener gracias a la colaboración en este proyecto de la empresa AsorCAD⁶. AsorCAD efectuó para este proyecto tanto el escaneado 3D de la calculadora, como el post tratamiento de la malla resultante y el trabajo de ingeniería inversa

⁶ AsorCAD: empresa patrocinadora del proyecto, afincada en Mollet del Vallés y relacionada con los ámbitos de la impresión y la digitalización 3D.



para obtener el modelo del objeto en CAD, entregado en diversos formatos compatibles con SolidWorks. El sistema empleado para realizar dichas tareas fue Geomagic Capture, de 3D Systems, que se compone por el escáner Capture y un software de post procesado a elegir entre varias opciones (en este caso se utilizó Design X).

A continuación, se detallan los pasos descritos en la producción de la funda de protección para la calculadora gráfica 50g de HP, mostrando los resultados obtenidos a través de ilustraciones para cada paso. Se han incluido los pasos más importantes del proceso, obviando otros secundarios como la simplificación en los modelos en formato STL mediante evitar problemas de tiempos de carga excesivos, etc.

6.3.1. Escaneado 3D

El proceso de escaneado 3D consiste en la aproximación de la geometría del objeto físico a tratar a través de una malla triangular, que se autogenera a partir de la obtención de una nube de puntos que definen los vértices de las facetas de la malla. Dicha digitalización da como resultado un archivo en formato STL.

Cada uno de los puntos de la nube y su posición se obtiene a través de la incisión y rebote de una señal (a menudo lumínica) sobre la superficie exterior del objeto.

De nuevo, los conceptos ‘resolución’ y ‘precisión’ son determinantes a la hora de evaluar la calidad del escaneado y se definen de forma análoga a los comentados en el proceso de impresión. En este caso, la precisión hace referencia a cuanto se aleja como máximo el escáner en la determinación de la posición del punto generado respecto a la posición del punto original del objeto y la resolución a la distancia mínima entre los puntos generados. En el caso del escaneado de la calculadora, AsorCAD utilizó el escáner Capture, mostrado en la siguiente imagen, que ofrece una precisión de 0,06 mm y una resolución de 0,11 mm.



Imagen 44: escáner Capture, de 3D systems. Fuente: elaboración propia.

En los escáneres más comúnmente utilizados, incluido el empleado en esta ocasión, al ser la señal empleada para obtener la nube de puntos una señal lumínica, aparecen defectos en las partes reflectantes de los objetos a escanear como por ejemplo pantallas y partes metálicas, como se puede apreciar en la siguiente imagen, que corresponde a la versión sin tratamiento de post procesamiento del escaneado de la calculadora:

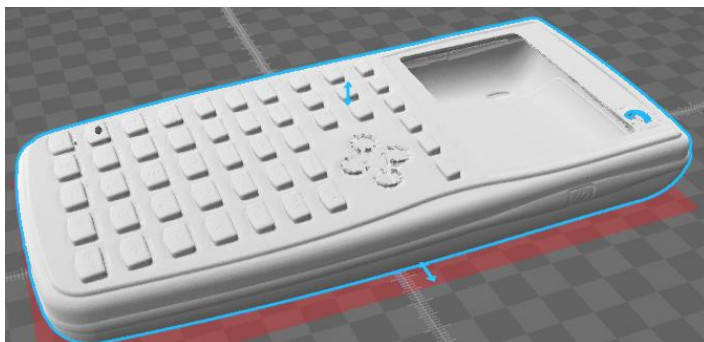


Imagen 45: primera versión (sin post procesado) del escaneado de la calculadora gráfica de HP modelo 50g facilitado por parte de AsorCAD. Fuente: elaboración propia.

Una solución sencilla, efectiva y extendida a este problema es tapar las partes reflectantes con cualquier tipo de cinta adhesiva opaca antes de efectuar el escaneado, pero en este caso, al no tener la parte delantera de la calculadora ningún tipo de interés para diseñar una funda para su protección, AsorCAD completó los huecos generados en la malla por las partes reflectante y simplificó toda la parte delantera, eliminando las teclas para obtener la versión definitiva del escaneado, que se muestra a continuación a través de tres imágenes del resultado:



Imagen 46: parte delantera de la versión definitiva del escaneado 3D de la calculadora. Fuente: elaboración propia

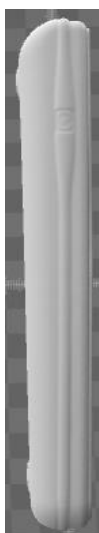


Imagen 47: parte lateral del escaneado. Fuente: elaboración propia



Imagen 48: parte trasera del escaneado. Fuente: elaboración propia



Como se puede apreciar el escaneado parece recrear perfectamente la forma de interés del objeto, a efectos de diseñar una funda de protección de la calculadora, es decir, las partes laterales y la parte trasera.

6.3.2. Obtención del modelo en CAD

A partir del escaneado 3D, mediante un proceso de ingeniería inversa realizado por los técnicos de AsorCAD utilizando el software Geomagic Design X, se obtuvo el modelo en CAD de la calculadora.

El proceso de ingeniería inversa consiste en generar alrededor del escaneado las entidades propias de los softwares de CAD, es decir superficies planas, cilíndricas, etc. para acabar formando el modelo del sólido con entidades propias del programa. El software permite saber cuánto se distancian las entidades creadas del escaneado, además de detectar automáticamente y hacer propuestas de que entidad es la adecuada para cada caso.

6.3.3. Creación de la superficie de recubrimiento

A partir del modelo, es sencillo generar en SolidWorks una superficie de recubrimiento a través de la herramienta 'equidistanciar superficies' del módulo del tratamiento de superficies del programa. Se fija la distancia en 0 mm para crear una superficie pegada al modelo de la calculadora. El resultado es el mostrado en la siguiente imagen:

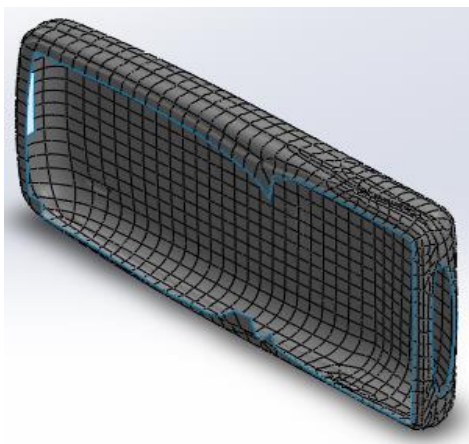


Imagen 49: superficie de recubrimiento del modelo de la calculadora, base de la funda.

Fuente: elaboración propia

Para obtener una primera aproximación a la forma final de la funda y evitar problemas en el posterior paso de dar grosor a la superficie para obtener un sólido, se efectúan algunos cortes sobre la superficie de recubrimiento a través de la herramienta 'recortar superficies'.

El resultado visto en planta de la parte delantera es el siguiente:

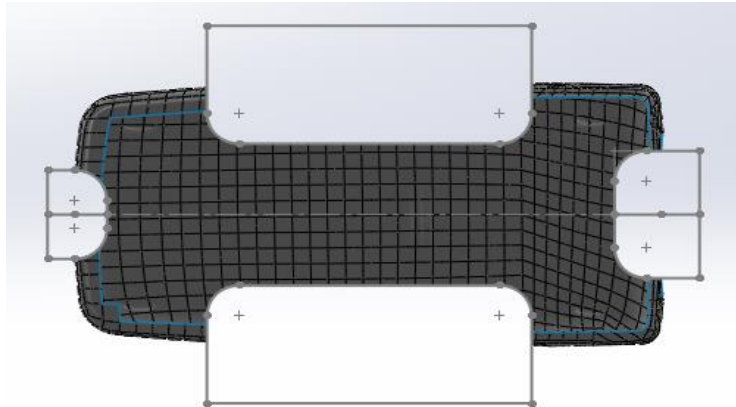


Imagen 50: superficie de recubrimiento cortada aproximando la forma de la funda de la calculadora.

Fuente: elaboración propia

Las dimensiones de esta primera aproximación a la forma no son importantes (se fijan arbitrariamente), sirven sólo como orientación para acercarse a la forma de la funda deseada. Los valores definitivos serán fijados posteriormente.

6.3.4. Grosor a la superficie

Se efectúa la exportación al formato STL y, a través del software de tratamiento de mallado Meshmixer de la empresa Autodesk, se da grosor a la superficie obtenida.

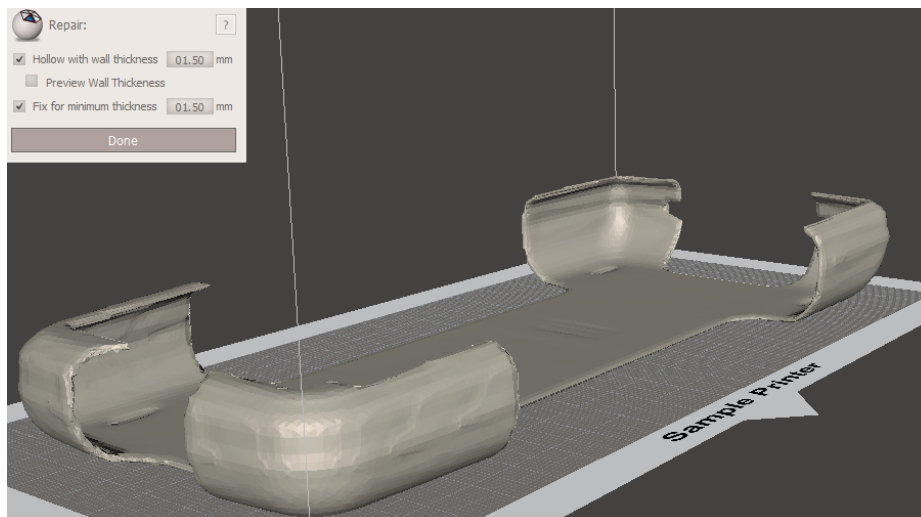


Imagen 51: dar grosor a la superficie de recubrimiento a través de Meshmixer. Fuente: elaboración propia

En este caso se da 1,5 mm de grosor ya que es el mínimo establecido por el servicio de impresión del aula RepRap de la facultad.



6.3.5. Cortes y personalización

Importando el resultado en STL a SolidWorks, se abre el sólido obtenido, se hacen los cortes necesarios para definir la forma de la funda definitiva a través de la herramienta 'extruir' en los croquis definidos con las medidas finales deseadas y se personaliza añadiendo en forma de hueco los elementos que se desee (por ejemplo, la introducción de texto generando un croquis con el texto deseado y efectuando extrusión sobre éste. Se muestra el diseño de los croquis empleados para efectuar las extrusiones para dar la forma y añadir la personalización (los planos con las medidas detalladas fijadas se pueden consultar en el anexo D):

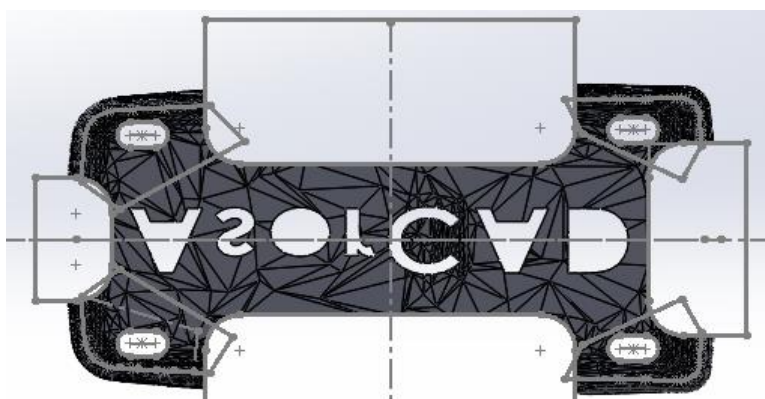


Imagen 52: visualización de los croquis empleados para generar la forma y personalización deseadas. Fuente: elaboración propia.

6.3.6. Resultado final

Una vez finalizado el diseño se procede la impresión del modelo, obteniendo el resultado mostrado en la siguiente imagen:



Imagen 53: funda calculadora gráfica impresa. Fuente: elaboración propia.

Por inspección visual, en cuanto a forma se obtienen unos buenos resultados, aunque el aspecto crítico, al igual que en la producción de la funda para el teléfono móvil es el encaje de la funda con el dispositivo. Para lograr un ajuste adecuado ha sido necesario producir 4 fundas para el teléfono móvil y 5 para la calculadora, variando pocos milímetros e incluso décimas en cada iteración el tamaño de la funda (a través de la opción 'reescalar' del software Meshmixer). Esto quiere decir que para lograr un diseño funcional se requiere la impresión de varios prototipos, con el aumento en cuanto a coste y tiempo asociado.

Al igual que en el caso de la funda para el teléfono móvil, la funda cumple con casi todas las especificaciones, excepto la relacionada con el tamaño máximo de impresión de la impresora empleada (también la BCN3D+, y por tanto tamaño máximo de impresión fijado en 252x200x200 mm) y el de tiempo de diseño, que ha sido mucho mayor a 4 horas, ya que ha implicado desplazamientos y probaturas de diferentes programas hasta llegar al diseño definitivo. Además, la especificación técnica de protección frente a caídas, tampoco ha sido comprobada para no poner en riesgo el dispositivo.



7. Estudio de alternativas

A continuación, se estudian dos de las posibles alternativas de implementación con las que se pueden cumplir con las exigencias del proceso de producción desarrollado, es decir, sistemas compuestos de elementos con los que se podría llevar a cabo el diseño y posterior impresión cumpliendo las especificaciones establecidas.

La alternativa denominada como 'profesional' tratará de alcanzar los valores objetivo de las especificaciones fijadas utilizando los elementos empleados para producir los prototipos (o de características similares).

En la otra alternativa, denominada 'doméstica', menos ambiciosa, se analizarán elementos capaces de alcanzar los valores aceptables de las especificaciones reduciendo costes, con los que se podría llevar a cabo el sistema de producción descrito.

Se realizará el estudio de las alternativas, describiendo los elementos que las forman y sus características.

El sistema debería incluir, de acuerdo con el sistema de producción descrito en la sección 6.1:

- Un sistema de escaneado para obtener el modelo en CAD del dispositivo a proteger compuesto de: un escáner 3D, algún software que permitiera llevar a cabo el tratado del escaneado (completar huecos y arreglar imperfecciones) y un programa que permita realizar el proceso de ingeniería inversa.
- Un software de CAD para diseñar la funda: se fija en SolidWorks ya que no se ha podido comprobar que otro ofrezca ciertas operaciones tan útiles y fácilmente realizables (creación de superficie de recubrimiento, cortes en éstas, capacidad de personalización a base de texto en forma de huecos generados por extrusión, importación y exportación al formato STL...).
- Un software de tratamiento de mallas en STL para dar grosor a la superficie de recubrimiento y cambiar el tamaño del objeto en caso de no lograr un encaje adecuado en la primera impresión: se fija en Meshmixer por haber comprado su funcionamiento y permitir realizar otras tareas como la reparación de las mallas.
- Un software de control de la impresora: se fija en Cura por ser gratuito, popular y ser el empleado por el servicio de impresión utilizado para imprimir los prototipos.
- Una impresora para llevar a cabo la impresión del diseño.

Por último, por simplicidad de la tecnología y el menor precio (generalmente), se fija el tipo de impresora en las que usan la técnica FDM.

7.1. Alternativa ‘profesional’

La ‘profesional’ es una alternativa de un sistema de producción compuesto por elementos empleados al producir los prototipos o similares y con los que se trata de alcanzar los valores objetivos de las especificaciones. La razón para incluir esta alternativa es que, tal y como se ha podido comprobar en la producción de los prototipos, este sistema es capaz de producir unas fundas que cumplen casi todas las especificaciones impuestas.

Este sistema se compondría de los siguientes elementos (además de los fijados en la introducción del capítulo):

- Sistema de escaneado ‘Geomagic Capture para SolidWorks’: este sistema se compone del escáner Capture (precisión de 0,06 mm y una resolución de 0,11 mm) y un software que permite realizar tanto el trabajo de post procesado para la reparación de la malla como el trabajo de ingeniería inversa para obtener el modelo en CAD. A diferencia del software empleado para producir el prototipo de funda para la calculadora, se optaría por el modulo ‘Geomagic Capture’ para el programa SolidWorks (en vez del software Design X, software propio de 3D Systems). Esta opción permitiría realizar el proceso de ingeniería inversa de forma similar tanto en trabajo a realizar como en resultados, pero con esta elección se usaría un solo programa (SolidWorks) para realizar varias tareas del proceso de producción, simplificándolo. Además, esta alternativa tiene un precio menor (unos 17.000 euros, frente a los 26.000 euros de la opción con Design X).
- Impresora 3D ‘The gMax 1.5+’: de la empresa americana gCreate, destaca por ofrecer un gran tamaño de impresión máximo (406,4x406,4x304,8 mm) a un precio competitivo (2.336,50 euros con el doble extrusor opcional incluido) y con unas características de impresión que cumplen con las especificaciones (altura de capa mínima de 0,08 mm, doble extrusor opcional que permite imprimir en dos colores...).

7.2. Alternativa ‘doméstica’

Esta alternativa podría ser viable por las características de sus elementos con unos menores costes asociados respecto a la anterior. Los elementos exclusivos de esta alternativa serían:

- Escáner ‘XYZprinting 3D scanner’: con un tamaño máximo de escaneado de 600x600x400 mm y una resolución de 1,5 mm es una opción asequible en cuanto a escáneres comerciales (199 euros en la página oficial de la empresa XYZprinting). Aunque no se especifica la precisión del escáner y la resolución es mucho menor a la ofrecida por los escáneres profesionales (1,5 mm frente a los 0,11 del Capture), se piensa que la elección de este escáner sería suficiente para poder obtener una



aproximación a la forma del objeto suficiente para diseñar una funda de protección.

- Impresora 3D 'prusa i3' con el accesorio 'kit de actualización a base larga': esta impresora (que forma parte de las impresoras RepRap), junto al accesorio (de BQ) permiten un tamaño de impresión de 300x200x180 mm, lo que permite alcanzar los valores aceptables de la especificación asociada. Su resolución de 0,06 mm y precisión estimadas en 0,1 mm y 0,15 mm respectivamente para una velocidad de impresión normal (la empleada al imprimir los prototipos, de unas 4 horas para ambos) permitirían fabricar piezas con características similares a los prototipos. El precio final sería de 509 euros (439 euros de la impresora en Media Markt, y 70 euros del accesorio para la ampliación del tamaño de impresión, comercializado por BQ en su página web).

7.3. Tabla resumen

En la siguiente tabla se muestra un resumen con los elementos escogidos en las dos alternativas:

	Profesional	Doméstica
Escáner	Capture	XYZprinting
Software post procesado	Módulo SolidWorks	Meshmixer
Software ingeniería inversa	Módulo SolidWorks	SolidWorks (manualmente)
Software diseño funda	SolidWorks	SolidWorks
Software de control de la impresora	Cura	Cura
Impresora	The gMax 1.5+	Prusa i3 y kit de actualización para base mayor
Software cambio de tamaño (ajuste)	Meshmixer	Meshmixer

Tabla 4: elementos que forman las alternativas. Fuente: elaboración propia.

Éstas, son solamente dos de las posibles alternativas de implementación, a las que se podrían realizar variaciones en sus elementos en función de las posibles nuevas necesidades o preferencias. Por ejemplo, se podría sustituir la impresora por otra de dimensión máxima de impresión mayor como la Gigabot 3.0 en caso necesario.

8. Viabilidad económica

Para realizar el estudio de viabilidad económico se procede a calcular la demanda necesaria para pagar los costes de las alternativas presentadas. Se calcula por lo tanto la demanda del punto de equilibrio. A partir de dicho valor de la demanda, se obtendrían beneficios. En la siguiente tabla se muestran los costes computados en el primer año, así como el precio de venta por funda supuesto y el cálculo de la demanda necesaria para cubrir los costes.

	Alternativa 'profesional'	Alternativa 'doméstica'
Coste sistema de escaneado	17.000 €	200 €
Coste del software diseño	12.000 €	8.000 €
Coste de adquisición de la impresora	2.336,50 €	509 €
Coste del filamento	1.675 €	921 €
Coste de oficina	7.800 €	2.100 €
Coste de la página web	456 €	368 €
COSTE TOTAL	41.268 €	12.098 €
Precio de venta	24 €/funda	12,60 €/funda
Demanda (punto equilibrio)	1.719 fundas	960 fundas

*Tabla 5: costes puesta en marcha de las alternativas, precio de venta supuesto y demanda del punto de equilibrio.
Fuente: elaboración propia.*

Explicación y desglose de los valores computados:

- Coste del sistema de escaneado: en la alternativa 'profesional' se muestra un presupuesto aproximado facilitado por AsorCAD. En la 'doméstica' se computa tan solo el coste del escáner, ya que el coste del software para realizar la ingeniería inversa se computa en el campo siguiente (por realizarse con el mismo programa, SolidWorks).
- Coste del software de diseño: en el caso de la alternativa 'profesional' se computa un presupuesto aproximado de la licencia de la versión 'pro office' del programa SolidWorks. Para la alternativa 'doméstica', se computa el precio aproximado de la licencia de la versión básica de SolidWorks. Ambas son licencias permanentes, pero no incluyen las actualizaciones posteriores a la adquisición de la licencia.



- Coste de adquisición de la impresora: en la alternativa ‘profesional’ se computa el precio de venta de la web del propio fabricante (gcreate). Para la alternativa ‘doméstica’ se incluye el precio de venta de la impresora en Media Markt y el del kit de ampliación de la base de la página web de BQ.
- Coste del filamento: se considera PLA como material, por ser medioambientalmente menos invasivo que el ABS, tal y como se explica en el siguiente capítulo. Para la alternativa ‘profesional’ se supone que se adquieren 10 bobinas de cada color para 10 colores distintos, es decir, 100 bobinas en total. Para la ‘doméstica’ se considera que se adquieren 5 bobinas de cada color para 10 colores distintos y una extra para los cinco colores que se prevea más demanda (blanco, negro, gris, azul y rojo, por ejemplo) lo que suman un total de 55 bobinas. Se toma como referencia del precio por bobina de 16,75 € de bcn3dtechnologies. Se fijan estas cantidades de material por ser unas cantidades suficientes para satisfacer la demanda de material en el punto del punto de equilibrio (se necesitarían 86 y 48 bobinas para las alternativas ‘profesional’ y ‘doméstica’ respectivamente) y que a la vez pudieran compensar el efecto del mayor éxito de unos colores frente a otros. Se estima que con cada bobina (de 1 kg) se pueden producir unas 20 fundas. Este cálculo se basa en que la densidad del PLA es $0,00125 \text{ kg/cm}^3$ a temperatura ambiente, por lo tanto, el volumen de filamento por bobina es de 800 cm^3 y el volumen aproximado de una funda es de 40 cm^3 , estimado al alza por prudencia, en base a que el volumen del prototipo de la funda para el teléfono móvil es de $20,2 \text{ cm}^3$.
- Coste de oficina: para ambas alternativas se han computado precios de alquileres del conocido portal ‘Idealista’ en Barcelona, que incluyen el consumo eléctrico, de agua, internet, mobiliario básico y servicio de limpieza. Para la alternativa profesional se ha considerado el alquiler de una oficina de 27 m^2 situada en la plaza de Francesc Macià a un precio de 650 € mensuales, mientras que para la alternativa ‘doméstica’ se ha computado el precio del alquiler de un espacio compuesto por dos mesas de trabajo (15 m^2) en una oficina de ‘coworking’ en la calle Ballester, número 67, a un precio de 175 € mensuales.
- Coste de la página web: aunque no se entrará al detalle en lo referente a los canales de venta, parece lógico pensar que hoy en día cualquier negocio y en particular aquellos que tengan relación con nuevas tecnologías como el relacionado con este proyecto deben disponer de una página web. El coste computado en la alternativa ‘doméstica’ corresponde a los servicios ofrecidos por el portal ‘webartesanal’ y se compone de: creación de la página web (249 €), opción de pago por PayPal (49 €) y mantenimiento anual (70 €) que incluye la renovación del dominio web. La alternativa ‘profesional’ incluye, además: campaña de posicionamiento en buscadores (49 €) y analítica de la web (39 €), que incluye informes semanales de las estadísticas más importantes relacionadas con la página web, como el tráfico de visitas.

No se han computado los costes de transporte, ya que correrían a cargo de los compradores en caso de ser necesarios: se ofrecería la opción de recogida en oficinas sin sobrecargo en el precio y algún tipo de servicio de transporte de terceros, del cual no se obtendrían beneficios ni se computarían como gastos por considerarse un aspecto externo. En los precios referencia para establecer los precios de venta supuestos tampoco se incluían los costes de transporte, ya que en la mayoría de portales también se paga a parte (es habitual hacer descuentos o asumir el coste de transporte para pedidos de varias unidades, por ejemplo, ucreate3D ofrece el transporte gratuito para pedidos de más de 43,44 €). Esta sería una opción a considerar.

- Precio de venta: en la alternativa 'profesional' se fija como el precio máximo permitido sobrepasando en un tercio del precio de la competencia (generalizando con el valor de la funda para teléfono móvil fabricada por impresión 3D, de 18 € de precio en Ucreate3D). Esto fija el precio en 24 € para esta alternativa. Para la 'doméstica', por ser menor la demanda necesaria para pagar los costes, se fija el precio en el que los usuarios están dispuestos a pagar, obtenido de la encuesta (12,60 €).

Así pues, el cálculo efectuado dividiendo el coste total entre el precio de venta daría como resultado que haría falta vender 1.719 fundas si se escogiera la alternativa 'profesional' y 960 si se optara por la alternativa 'doméstica' para llegar a pagar los gastos de inversión del primer año de actividad al precio establecido.

En vista de estos resultados, parece que el nivel de demanda necesaria para solventar los gastos de la alternativa 'profesional' sería difícil de alcanzar, mientras que para la 'doméstica' sí que se puede considerar alcanzable, ya que, en comparación, se requiere la venta del 55,4% de fundas a un precio mucho menor, 12,60 € frente a 24 €.

Así pues, la alternativa 'doméstica', sí que se considera una opción viable económicamente, por conllevar unos costes menores, lo que implicaría una demanda necesaria para recuperar la inversión realizada menor, y un riesgo y consecuencias en caso de no tener éxito en el mercado mucho menores.

Aun así, se trata de cifras de demanda considerables si se tiene en cuenta que se deberían vender una media de 2,63 fundas al día, por lo que es posible que el retorno de la inversión no se produjera durante el primer año, sino durante el segundo o posteriores.



9. Estudio ambiental

Hoy en día, por la mayor conciencia de las repercusiones que actividades humanas acarrear sobre el entorno y sobre todo el planeta, se tienen en cuenta consideraciones del tipo ambiental, tanto en la elección de las alternativas de un proyecto como en el propio planteamiento de realización del mismo.

“A partir de los años 70 se inicia una etapa en la que, además de los aspectos técnicos y económicos, se consideran otros factores y criterios para la valoración de alternativas y la toma de decisiones, dando lugar a lo que se conoce como estudios de impacto ambiental. Entre otros, podemos destacar los criterios de protección del entorno socio-económico y natural: protección del medio físico, uso racional de los recursos y valoración de los aspectos sociales.” (Apuntes de la asignatura gestión de proyectos, Departamento de proyectos de ingeniería, ETSEIB-UPC).

En este capítulo se realiza un estudio ambiental con los aspectos principales a tratar.

9.1. Estudio medioambiental

Como en todo proyecto en ingeniería se debe tratar el posible impacto medioambiental con especial atención, ya que reducir dicho impacto respecto a otro método de producción ha de ser siempre un objetivo a considerar, al igual que un criterio a la hora de escoger la alternativa a implementar entre las posibles a considerar.

Por ello, se deben tener en cuenta diferentes los siguientes aspectos en comparación con otros métodos de fabricación (sustractivos):

- La impresión 3D hace, en general, un aprovechamiento mayor del material de fabricación que las tecnologías de fabricación sustractivas. Aun así, cabe destacar que también se produce un cierto desaprovechamiento, el derivado de la creación, necesaria en muchas de las tecnologías de impresión dependiendo de la geometría del objeto a fabricar, de soportes para evitar deformaciones por efecto de la gravedad durante la impresión. Este material, será generalmente desaprovechado en la mayoría de tecnologías de impresión dependiendo de la geometría del objeto a imprimir, con algunas excepciones, como el SLS. Aun así, por la geometría de las fundas de protección, no se producen en general partes voladizas, por lo que se hace un aprovechamiento total del material.
- Al contrario que las técnicas de fabricación sustractivas, no se generan problemas medioambientales derivados del uso de refrigerantes durante la fabricación.

- Los costes energéticos derivados se pueden ver reducidos. La impresión 3D permite una descentralización de la producción que permite una gran reducción del consumo energético derivado del transporte. Además, por las características del producto, la producción se realizaría bajo demanda, lo que ahorra todos costes energéticos relacionados con el almacenamiento.
- La impresión 3D reduce el impacto medioambiental en la producción si la serie de fabricación es corta. Este hecho viene justificado por la necesidad de la generación de moldes en el moldeo por inyección. Esta generación, no es rentable medioambientalmente en comparación con la producción por impresión 3D si no se produce un determinado número mínimo de réplicas del mismo objeto. Concretamente, para fundas de protección para el teléfono móvil iPhone 5 de Apple, comparado con la técnica de fabricación sustractiva ‘moldeo por inyección’, la impresión 3D produce un impacto medioambiental menor para series de fabricación menores de 300 réplicas para las impresoras de alta calidad y de 1000 réplicas para impresoras de calidad media. (Cuboyo, 2013). La variación del número de réplicas mostrada se asocia con el mayor consumo eléctrico de las impresoras de mayor calidad. En el caso concreto de las fundas de protección en las que se hace referencia en este proyecto, queda claro que la producción por impresión 3D es un método comparativamente más adecuado, ya que se trata de series de producción de una sola réplica.

Además, también se debe tener en cuenta la elección del material en la impresión. Los más extendidos para la técnica de fabricación por filamento fundente son el PLA y el ABS. Entre éstos, en el aspecto medioambiental, destaca como más apropiado el PLA, ya que es fácilmente biodegradable y su temperatura de fusión es menor (y por lo tanto también el gasto energético asociado). Además, a diferencia del PLA, el ABS emite gases nocivos durante la impresión. Por estas razones se piensa que, aunque el ABS ofrezca unas mejores propiedades mecánicas, se debería promover el uso de PLA, con medidas como por ejemplo ofrecer menores precios para las impresiones en dicho material o directamente no ofrecer el ABS como posibilidad de material para las fundas.

9.2. Impacto socioeconómico

En cuanto a los aspectos sociales y económicos, se considera que se tendría un impacto positivo, ya que se contribuiría al crecimiento de la economía con la compra de los diferentes elementos (licencias, materiales, impresora...), la contratación de los diferentes servicios relacionados como el alquiler de oficina y servicios relacionados (limpieza, agua...) y la posible contratación de trabajadores si el proyecto es exitoso. También se aportaría valor y se ayudaría a fomentar la tecnología de impresión 3D, por tratarse de la producción de un objeto de uso cotidiano podría servir de inspiración para nuevos proyectos.



10. Normativa aplicable

El objetivo común de toda legislación industrial está en la seguridad de las personas, bienes y medio ambiente. En el caso de proyectos de diseño de productos, como es el caso, las restricciones legislativas puede condicionar fuertemente las características del mismo. (Apuntes de la asignatura gestión de proyectos, Departamento de proyectos de ingeniería, ETSEIB-UPC).

No existe una normativa específica en cuanto al uso de las impresoras 3D, y menos aún una normativa que regule concretamente la producción de fundas de protección. Aun así, se deberían respetar normativas relacionadas con la producción y comercialización de bienes en materia de seguridad, calidad, regulación del mercado, etc. Se supondrá que el mercado principal del producto es la Unión Europea. Estas son las normativas que tienen una relación más directa con el proyecto:

1. El Reglamento (CE) nº 765/2008 y la Decisión nº 768/2008/CE: sobre la regulación de la comercialización de productos en la Unión Europea, establecen que todo fabricante o importador que comercialice un producto debe indicar en el producto (o en su embalaje de no ser posible) sus datos (nombre, nombre comercial registrado y dirección de contacto), identificar cada producto individualmente de manera unívoca (código) y mantener documentación económica (factura, por ejemplo) que permita rastrear el origen del producto. Además, establece los criterios sobre el marcado de conformidad (CE), con el que el fabricante informa tanto a usuarios como a autoridades, que el producto comercializado cumple con los requisitos esenciales legales y técnicos. Por último, se establece que se debe mantener la documentación técnica durante 10 años. El contenido de la documentación técnica consta básicamente de: descripción del producto y de su uso previsto, diseño técnico, descripción de la fabricación y el funcionamiento del producto de todas las versiones derivadas de rediseños y modificaciones.
2. Ley 17/2001, de 7 de diciembre, de Marcas: se deberían evitar producciones que entren en conflicto con la protección por vía de la propiedad intelectual y la propiedad industrial en cuanto a diseños registrados. Un claro ejemplo sería la inclusión de cualquier signo o representación gráfica (como logotipos) que se identifiquen con una marca en concreto en la personalización de las fundas de protección sin el consentimiento explícito de la empresa para su comercialización. Tampoco se podría copiar diseños de fundas del mercado.
3. Directiva 2001/95/CE: hace referencia a la seguridad general de los productos. El objetivo es garantizar que los productos que se pongan en el mercado sean seguros. Además, establece que los productores deben proporcionar a los consumidores

información adecuada que permita evaluar los riesgos relacionados con el producto comercializado durante su período de utilización normal o razonablemente previsible, cuando éstos no sean inmediatamente perceptibles, a fin de que puedan precaverse de dichos riesgos.

4. Ley General para la Defensa de los Consumidores y Usuarios (artículos 135 y siguientes): relacionada con la directiva del punto anterior, hace referencia la responsabilidad por parte del productor frente a productos defectuosos. “Cuando un consumidor adquiere un producto defectuoso y este le causa un daño, el productor ha de indemnizarle. Es decir, todo productor es responsable de los daños que causen los productos defectuosos que pone en el mercado. (“Límites que impone la ley española al usuario de impresoras 3D”, 2014). Estos artículos marcan la responsabilidad sobre los posibles desperfectos ocasionados por un producto producido, importado o comercializado. En este caso, sería crítico garantizar que las fundas de protección no produjeran ningún desperfecto sobre el dispositivo a proteger ni fuera peligroso para el usuario durante su manipulación.

Además, se debería tener presente el derecho sobre la propiedad intelectual de los diseños de fundas producidas y tomar las medidas correspondientes en caso de detectar la vulneración de dicha propiedad por plagios de los diseños.



11. Planificación y coste del proyecto

En este capítulo se presentan los recursos y la distribución de éstos para llevar a cabo este proyecto, tanto materiales como temporales.

En cuanto a los costes, se computan tanto los relacionados con la realización de los prototipos, así como una estimación del coste relacionado con el tiempo para la realización del proyecto empleado.

11.1. Planificación

A continuación, se muestra una imagen donde se ilustra la planificación seguida durante la realización del proyecto:

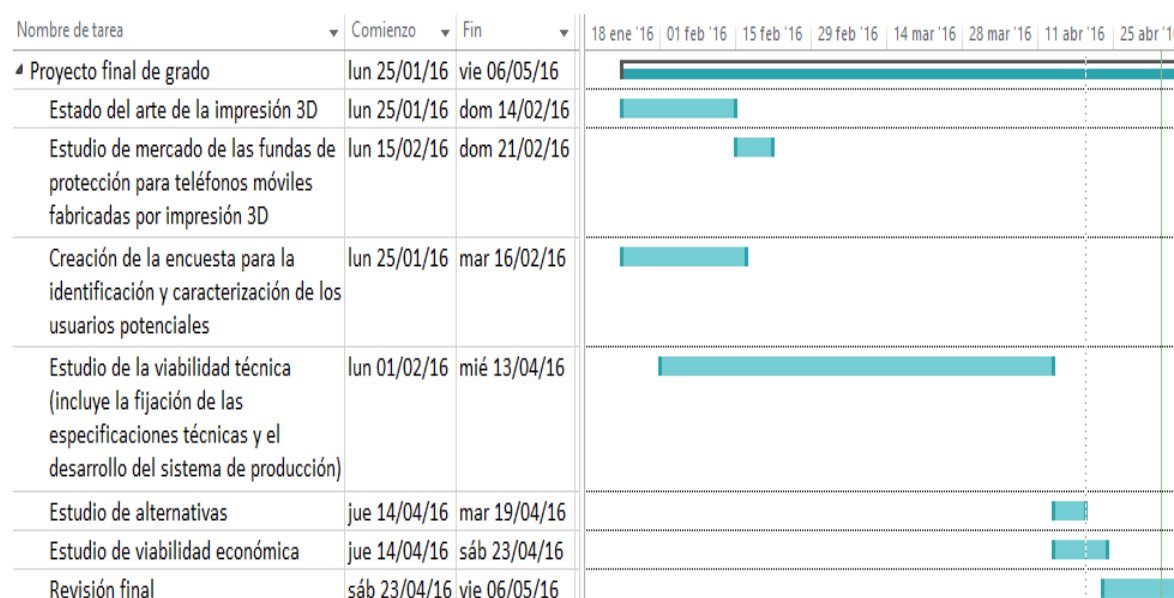


Imagen 54: planificación del proyecto. Fuente: elaboración propia.

En cuanto al tiempo de trabajo empleado, se estima en 306 horas, ya que se ha trabajado una media de 3 horas al día durante los 102 días empleados para la realización del proyecto (desde el 25 de enero al 6 de mayo de 2016).

11.2. Coste del proyecto

Los costes computados para la realización de este proyecto son: coste de las impresiones, coste del servicio ofrecido por AsorCAD (escaneado 3D e ingeniería inversa), el coste del tiempo empleado (en base a un sueldo estimado) y el coste de los desplazamientos.

En cuanto a las impresiones, se han realizado 4 para alcanzar el prototipo final de la funda para el teléfono móvil y 5 para la de la calculadora gráfica 50g. Las impresiones han sido realizadas a través del servicio 'aula RepRap' a un precio por impresión compuesto por una componente fija de 0,50 € y una variable de 0,15 € por cada cm^3 . Las variaciones del precio unitario entre las sucesivas iteraciones de un mismo prototipo, al estar relacionadas con las variaciones de volumen y haber sido éstas mínimas, se han considerado despreciables.

En cuanto al coste del escaneado y trabajo de ingeniería inversa para la obtención del modelo de la calculadora gráfica en formatos importables desde SolidWorks, realizado por AsorCAD, está presupuestado en 314,60 € (IVA incluido).

Para calcular la equivalencia entre el tiempo empleado y el coste del trabajo realizado, se estima en 12 € el salario bruto por hora trabajada para un ingeniero junior. Incluye la cotización de la seguridad social.

Para calcular el coste de los desplazamientos se computa el precio de 2 € por desplazamiento (billete sencillo del metro en Barcelona). Se realizaron dos desplazamientos por cada impresión (ida y vuelta para la recogida de la impresión) y otros 4 para el servicio de escaneado realizado (2 desplazamientos de ida y vuelta).

En la tabla siguiente se muestra un resumen de los costes de la realización del proyecto:

Costes	Unitario	Número de unidades	Total
Impresiones funda teléfono móvil	3,50 €/impresión	4 impresiones	14 €
Impresiones funda calculadora gráfica	2,70 €/impresión	5 impresiones	13,50 €
Escaneado e ingeniería inversa	314,60 €/escaneado	1 escaneado	314,60 €
Trabajo	12 €/hora	306 horas	3.672 €
Desplazamientos	2 €/desplazamiento	22 desplazamientos	44 €
Coste total			4.058,10 €

Tabla 6: costes del proyecto. Fuente: elaboración propia.

El coste total es pues de 4.058,10 €. No se ha considerado el coste del gasto energético durante la realización del proyecto ni la parte proporcional del coste de la licencia del software SolidWorks (pagada por la universidad) por considerarse despreciables.



12. Conclusiones

De este estudio de viabilidad se extraen varias conclusiones. Para mostrarlas lo más claramente posible, se hace distinción entre las relacionadas con el contenido del proyecto y las personales, derivadas de la realización del propio proyecto.

En cuanto a las conclusiones de contenido de este proyecto, cabe destacar que:

- La producción de fundas de protección mediante impresión 3D es viable técnicamente: tal y como se ha podido demostrar mediante la producción de los prototipos de funda de protección y la comprobación del cumplimiento de las especificaciones técnicas en éstos.
- La producción de fundas de protección mediante impresión tridimensional sería viable económicamente en caso de implementar el sistema de producción desarrollado con una alternativa con unos costes bajos, como la denominada 'doméstica' presentada en este informe, o si tuviera una alta demanda. En concreto, considerando un año como horizonte temporal para pagar los costes asociados, haría falta una demanda 960 fundas producidas por el sistema de producción asociado a la alternativa 'doméstica' si se fijara el precio de venta en 12,60 €.
- Se considera que la producción de fundas de protección por impresión 3D, además de ser viable, sería una mejor opción respecto otros métodos de producción para casos de series de fabricación cortas. Por ejemplo, fundas de aquellos de objetos para los que no exista oferta de fundas de protección y/o para usuarios que busquen capacidad de personalización en las fundas de protección.
- Además del reducido número de réplicas, también es un sistema de producción adecuado por las características geométricas de las fundas (objetos con poco grosor, por lo tanto, poco volumen de material, y de geometrías complejas).
- El proceso de diseño, aunque se considera simple y efectivo, es mejorable, ya que, aunque se utilicen técnicas avanzadas como escaneado 3D e ingeniería inversa, necesita de varias iteraciones para lograr un ajuste adecuado entre la funda y el dispositivo.
- La calidad de los acabados es mejorable, en los prototipos se pueden apreciar ciertas imperfecciones como pequeñas irregularidades que se deberían reducir al mínimo si se comercializara el producto.

En cuanto a las conclusiones personales, derivadas de la realización de este proyecto destacar que la realización de este proyecto ha sido útil para conocer a fondo la tecnología de impresión 3D y ver qué posibilidades ofrece esta tecnología. A nivel más general, la realización de este proyecto me ha servido para ganar conciencia sobre la rigurosidad

necesaria en la realización de proyectos y, sobre todo, para conocer las metodologías a seguir para realizar estudios de viabilidad.



Agradecimientos

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a la empresa AsorCAD por ofrecerme sus servicios de escaneado 3D e ingeniería inversa, ya que han sido clave para poder completar la parte práctica de este proyecto (producción de los prototipos). A Antonio Sánchez en particular, su director, gracias también por su tiempo para darme explicaciones sobre las tecnologías implicadas y sus aplicaciones, así como para ayudarme a solucionar dificultades de diseño.

Bibliografía

En este capítulo se muestra la documentación básica consultada al realizar este proyecto.

Documentos de texto

Apuntes de la asignatura gestión de proyectos, Departamento de proyectos de ingeniería, ETSEIB-UPC.

de la Peña, S., & Cañete, I. (2016). *Diseño del prototipo de un kit de impresora 3D* (Grado). Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona (ETSEIB).

Gil, I. (2015). *La impresión 3D y sus alcances en arquitectura* (Grado). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM).

Moix, N. (2014). *Plan de empresa: 3-DIY* (Grado). Universidad Politécnica de Cataluña, ETSEIB.

Páginas web

Asorcad · Expertos en Escaneado 3D, Ingeniería Inversa y Metrología 3D. (2016). Asorcad. Varias consultas en <http://www.asorcad.es/>

Wikipedia. (2016). Wikipedia.org. Varias consultas en <http://www.wikipedia.org>

RepRap/es - RepRapWiki. (2016). Reprap.org. Consulta el 26/01/2016 en <http://reprap.org/wiki/RepRap/es>

Alegsa, L. (2010). *Definición de VRML*. Alegsa.com.ar. Consulta el 27/01/2016 en <http://www.alegsa.com.ar/Dic/vrml.php>

Impresión 3D | Tecnología de los Plásticos. (2013). *Tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es*. Consulta el 07/02/2016 en <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2013/02/impresion-3d.html>

3D Printing Solutions | Stratasys. (2016). Stratasys.com. Consulta el 07/02/2016 en <http://www.stratasys.com/>

BCN Dynamics | Open Source Technology. (2016). Bcndynamics.com. Consulta el 09/02/2016 en <http://bcndynamics.com/es>

Monje, L. (2015). *Aplicaciones de la impresión 3D (II) - Ingeniería y Robótica. Impresión 3D Prototipado | 3D Printing Prototyping | Dima 3D*. Consulta el 11/02/2016 en <http://www.dima3d.com/aplicaciones-de-la-impresion-3d-ii-ingenieria-y-robotica/>

Home - BCN3D Technologies. (2016). BCN3D Technologies. Consulta el 12/02/2016 en <https://www.bcn3dtechnologies.com/es/>



Voltera - Circuit Printer. (2016). *Voltera.io*. Consulta el 12/02/2016 en <http://voltera.io>

La impresión 3D llega a la fórmula 1. (2014). *TodoImpresoras3D*. Consulta el 12/02/2016 en <http://www.todoimpresoras3d.net/la-impresion-3d-llega-la-formula-1/>

3D-Printed Car | Local Motors. (2016). *Localmotors.com*. Consulta el 12/02/2016 en <https://localmotors.com/3d-printed-car/#revolutionary-friends>

3D Printed cases. (2016). *3dpcase.sculpteo.com*. Consulta el 16/02/2016 en <http://3dpcase.sculpteo.com/es/>

Designing Cases for iPod, iPhone, and iPad - Apple Developer. (2016). *Developer.apple.com*. Consulta el 16/02/2016 en <https://developer.apple.com/cases/>

UCreate3d. (2016). *UCreate3d*. Consulta el 17/02/2016 en <http://www.ucreate3d.com/>

Circa M5. (2016). *Bq.com*. Consulta el 17/02/2016 en <http://www.bq.com/es/circa-aquaris-m>

MakerBot Thingiverse. (2016). *Thingiverse.com*. Consulta el 18/02/2016 en <http://www.thingiverse.com/>

Navarro, A. (2014). *Análisis comparativo de impresoras 3D. ComoHacer.eu*. Consulta el 14/04/2016 en <http://comohacer.eu/comparativa-impresoras-3d/>

Guía de impresoras 3d precios y características - Impresion 3D | Imprimalia 3D. (2016). *Imprimalia 3D*. Consulta el 14/04/2016 en <http://www.imprimalia3d.com/impresoras3d>

Handheld 3D Scanner | 3D Scanner | 3D Scanning | XYZprinting. (2016). *Eu.xyzprinting.com*. Consulta el 15/04/2016 en http://eu.xyzprinting.com/eu_es/Product/3D-Scanner#spec_single

2013, V. (2016). *Environment | Cuboyo. Cuboyo.com*. Consulta el 20/04/2016 en <http://www.cuboyo.com/environmental>

Límites que impone la ley española al usuario de impresoras 3D. (2014). *Abanlex*. Consulta el 20/04/2016 en <https://www.abanlex.com/2014/11/limites-que-impone-la-ley-espanola-al-usuario-de-impresoras-3d/>

BOE.es - Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2016). *Boe.es*. Consulta el 21/04/2016 en <http://www.boe.es/>

Alquiler oficinas en Barcelona — idealista. (2016). *Idealista.com*. Consulta el 03/05/2016 en <http://www.idealista.com/alquiler-oficinas/barcelona-barcelona/>

Cómo crear una página web profesional económica con blog | Web Artesanal. (2016). *Webartesanal.com*. Consulta el 03/05/2016 en <http://webartesanal.com>

Seguridad Social:Trabajadores. (2016). *Seg-social.es*. Consulta el 06/05/2016 en http://www.seg-social.es/Internet_1/Trabajadores/index.htm